

6

高能天体的奥秘

32
2195

成都科学技术大学图书馆

基本馆藏

IRANKEXUE XIAOCONGSHU

自然科学小丛书

北京出版社

自然科学小丛书

高能天体的奥秘

卢炬甫

北京出版社

编 辑 说 明

《自然科学小丛书》是综合性科学普及读物，包括数学、物理、化学、天文、地学、生物、航空和无线电电子等学科。主要介绍这些学科的基础知识，以及现代科学技术成就。编写上力求深入浅出，通俗易懂，使它具有思想性、知识性和趣味性，可以作为中学的课外辅导读物，并适合具有初中文化水平的广大读者阅读。

自然科学小丛书 高能天体的奥秘 卢炬甫

*

北 京 出 版 社 出 版

（北京崇文门外东兴隆街51号）

新华书店北京发行所发行

北 京 印 刷 一 厂 印 刷

*

787×1092毫米 32开本 3印张 46,000字

1981年1月第1版 1981年1月第1次印刷

印数 1—8,800

书号：13071·112 定价：0.24元

目 录

- 一 比太阳亮几亿倍的超新星 (4)
蟹状星云的故事 (4) 超新星爆发的过程 (8)
超新星与地球和人类的关系 (12)
- 二 转动的“灯塔”——脉冲星 (16)
是“小绿人”在呼叫吗? (16) 科学预言的光辉胜利 (20) 脉冲是怎样形成的? (23) 中子星的奇异性质 (28)
- 三 一身是谜的类星体 (32)
谱线之谜 (32) 红移之谜 (37) 能源之谜 (42)
演化之谜 (47)
- 四 星系核的伟力神功 (50)
星罗棋布的宇宙岛 (50) 有核星系与无核星系 (52)
星系核活动的四种形式 (56) 银河系中心也不平静 (63) 星系核模型种种 (64)
- 五 大气层外迎远“客” (67)
冲出大气圈 (67) X射线“眼睛”中的天空 (70)

γ 射线天文奇花初放 (78)

六 高能粒子的“百宝箱” (82)

无畏者的功勋 (83) 无尽的高能粒子源 (84) 问
君何处来? (87)

你参观过北京天文馆吗？在这座天文馆主厅的中央，是一幅描绘太阳表面壮丽景色的图片，图片的上方有郭沫若同志题的一首诗：

太阳，宇宙发展的形象，
新中国发展的形象，
科学事业发展的形象，
热火冲天，能量无穷，光芒万丈！

郭老热情奔放的诗句和那火舌翻卷、气柱升腾的日面雄姿交相辉映，使每个初次走进这间大厅的人都为之吸引，为之赞叹。

太阳，是一团熊熊燃烧的炽热气体球。它依靠着内部物质的热核反应，不停地辐射出巨大的能量。太阳表面每秒钟发出的能量，是91.4亿亿亿卡。地球上获取的太阳能，只不过是太阳全部辐射能的22亿分之一而已。然而，这么小的一部分能量，却足以使我们的地球成为一个生机勃勃、欣欣向荣的世界。风起云涌，江河奔流，花开果熟，鸟飞兽走，都直接或间接

地依靠太阳提供的能量。人类在生产和生活中利用的大量能量，除了原子能等少数几种能源外，追根寻源都来自太阳。



图 1 日面雄姿

仰望夜空，繁星点点，除去少数几颗徘徊的行星，那一颗颗星星都是恒星，都是发光发热的太阳，它们都在把自己的能量慷慨地撒向太空。或许在某些恒星的周围，也有着象我们地球这样产生了理智生物的行星，那里的居民，也在利用他们的太阳供给的能量而生存和发展。

太阳这样的恒星发出的能量的确可谓大矣！然而，它们并不是我们这本书所要介绍的对象，因为它们还远没有资格成为高能天体家族的成员。二十世纪以来，尤其是六十年代以来，由于大型光学望远镜的问世，射电天文学的兴起，空间技术和基本粒子探测技术在天文观测中的广泛应用，人们在茫茫天外发现了宇宙间的一系列具有极高能量的现象和过程。相比之下，太阳的这点能量，简直可以说是微不足道。

宇宙中的高能现象和高能过程是十分丰富多采的。超新星爆发，星系核的活动和爆发，天体的 X 射线和 γ 射线辐射，以及宇宙线等，都是明显的例子。在类星体和脉冲星这样一些奇特天体上，也有高能过程在进行着。对这些高能现象和过程的研究，已经形成天体物理学的一门活跃的分支学科——高能天体物理学，它正在向我们揭示出一个奇妙无比的高能天体世界。我们这里讲的只是高能天体世界的一些有趣的现象和过程。

现在，让我们的好奇心插上翅膀，飞出小小寰球，飞出区区太阳系，到那个引人入胜的世界去观光吧。

一 比太阳亮几亿倍的超新星

蟹状星云的故事

美丽的星空，历来是人们的想象力纵横驰骋的原野。从遥远的古代起，人们就逐步把星空划分成一个个的星座，并且给它们起了许多诱人的名字，其中有天国的神王仙女，更多的则是各种走兽飞禽，什么大熊、狮子、飞马、天鹅……热热闹闹，简直使天空成了一个“动物园”。

在这个“动物园”里，还有一大一小的两只“螃蟹”呢。大的是黄道上的那个巨蟹星座，不过那个星座的样子其实并不怎么象螃蟹。小的则是一团气体云，你看它那图象，不是真象一只舞爪横行的螃蟹吗？于是它也就得了个大号叫“蟹状星云”。别看那团星云模样挺古怪，最近十几年来，它可是大出风头。它对人们认识恒星演化的规律也真出了大力。蟹状星云的故事，说来话长，得从九百多年前讲起。

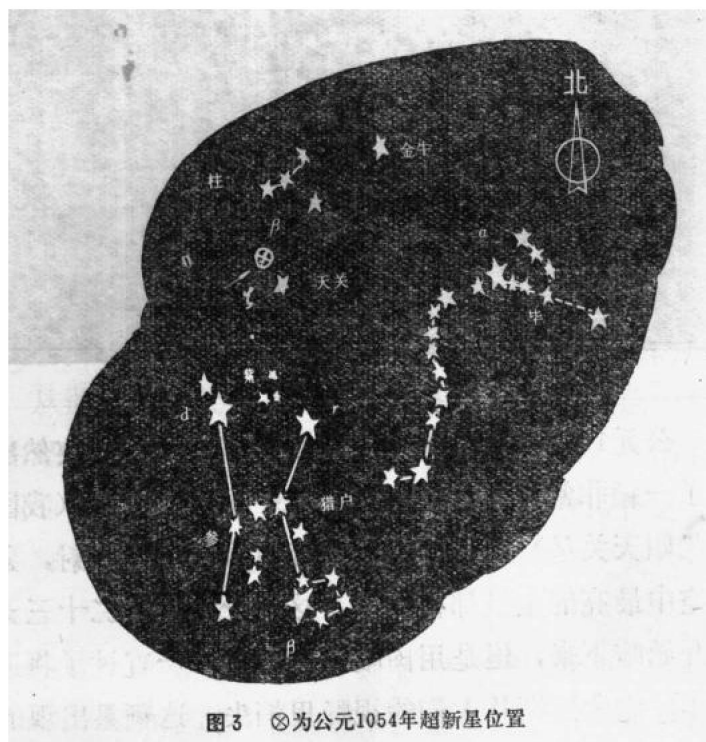


图2 蟹状星云

公元1054年5月的一个早晨，东方天空中突然出现了一颗非常亮的星，位置在金牛星座的 ϵ 星（我国古代叫天关星）附近。白天都能看到它光芒四射，象天空中最亮的金星那样明亮，这样一连亮了二十三天才开始暗下来，但是用肉眼仍能看到。一直过了将近二年，它才逐渐从人们的视野里消失。这颗星出现的时间是在我国的北宋时代，我国有好几部史书上都对它作了详细而准确的记载。

这种在天空中本来看不到星的地方突然出现的亮星，天文学上叫做“新星”。上面说的这颗星的亮度更是超群出众，因此就叫做“超新星”。我们的祖先则很有礼貌地把它称为“客星”。可是这位“客人”

却不请而来，不辞而走，在以后几个世纪中再也没有人看到它。



一直到十八世纪时，有个英国人用望远镜在这颗亮星曾经出现的位置上看到了一团模模糊糊的云雾状的东西，外形就象一只螃蟹，后来就把它叫做“蟹状星云”。起初大家并没有怎么注意它。有趣的是，过了几十年后再来看时，发现这团星云膨胀了，“螃

蟹”比以前长大了。到了二十世纪初，天文学家们进一步测量出星云膨胀的速度高达每秒1300公里，按照这个速度和当时观测到的星云半径，可以推算出它开始膨胀的时间是在八百多年以前，这正好非常接近那颗明亮的“客星”出现的时间——1054年。很显然，这团星云和那颗亮星是有联系的。看来，那位“客人”不是那么不懂礼节，它虽然走了，却还留了一份“礼物”在那里等着我们去收下呢。

这份“礼物”是非常珍贵的。它提供了证据使我们可以作出这样的推论：1054年观察到的那颗异常亮的星，乃是一种恒星的爆发现象，由于爆发而使恒星的亮度发生突然的巨大的变化。这团现在观察到还在膨胀的星云，正是恒星炸开后的碎末。原来，所谓新星、超新星，都不是什么新产生的恒星，恰恰相反，它们都是演化到了晚期的恒星，是恒星家族中的老者。只不过它们原来的亮度太微弱了，肉眼看不见，用望远镜也看不到。但是，它们似乎不甘心一生就这样默默无闻，因此在晚年就来了个精采的表演。

那么，晚期恒星为什么会爆发呢？它们爆发的过程又是怎样的呢？我们这里只讲超新星爆发，因为它才算得上是高能天体现象。而新星的爆发规模比超新星相差很远，二者爆发的过程也完全不同。

超新星爆发的过程

讲超新星爆发，得从恒星的中年期讲起。我们的太阳就一颗中年期的恒星，它处于现在这种状态已经有四十多亿年了。在这样长的时间里，它的光度也就是发光本领可以说没有什么变化，可见中年期的恒星是很稳定的。学过物理学的人都知道，任何物质之间都有万有引力作用。恒星的质量是非常大的，组成恒星的各部分物质之间的巨大引力应当会使恒星向内收缩。中年期的恒星能够保持稳定，它内部就一定有向外的压力来抵抗住向内的引力。恒星内部向外的压力，主要是组成恒星的各微观粒子的热运动所产生的气体压力，另外还有恒星内部产生的辐射对外部施加的辐射压力，以及其它类型的压力。这种热运动和辐射的能量来源，就是在恒星中心区域进行的热核反应，也就是象氢弹爆炸时那样的氢原子核聚变成氦原子核的反应。

但是，恒星中氢的含量总是有限的。一旦核心区域的氢烧完之后，核心产能区就停止产生能量。于是压力与引力的平衡受到破坏，巨大的引力就会使恒星收缩，收缩的结果又会使恒星内部的温度升高。当温度高到氢燃烧的点火温度时，氢又发生新的热核反应

而聚变成碳、氧等元素，同时放出能量，使恒星处于新的平衡状态。这时的恒星，就已经进入晚期了。再往后，碳、氧等元素也会燃烧，热核反应就这样逐级进行下去，比较轻的元素逐步聚合成更重的元素，一直进行到合成铁族元素（包括铁、钴、镍）。

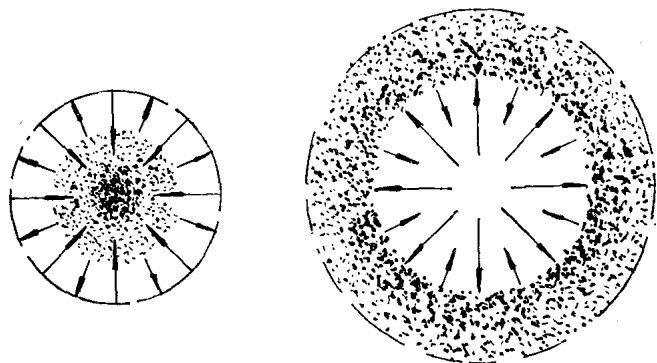


图4 压力小于引力，恒星就要收缩（左），反之，就要膨胀（右）

但是，到了铁族元素形成之后，忽然奇峰突起，事情急骤改观。因为合成比铁族更重的元素所需要的条件，在恒星内是不具备的，恒星内的热核反应进行到形成铁族元素后就停了下来。这一停可了不得，恒星物质间的巨大引力得不到抗衡，就象坑道里抽掉了支撑的坑木，整个恒星也就象坑道塌方那样向中心剧烈“坍缩”，结果使核心部分的物质被挤压得如此厉

害，以至原子核外的电子都被压到核内，同核内质子结合成为中子，形成一个高温高压的“中子核”。关于这个中子核，我们在下一章还要专门谈它。

恒星核心部分的这个中子化过程会放射出大量的中微子。中微子是一种有着许多奇特性质的基本粒子，它不带电荷，静止质量为零，同其它粒子的相互作用非常微弱，因而具有高超的贯穿本领。《聊斋志异》里有一则故事讲一个道士教人学穿墙而过的法术，中微子的本领比那道士大得多，它可以毫不费劲地穿透恒星，穿透地球，简直如入无物之境。但是，现在从恒星核心出来的不是少量的中微子，而是一股强大的中微子流，它会对恒星的含有丰富铁元素的外壳产生不可抗拒的压力，象激流冲垮沙堤，象飓风摧毁茅屋，它也猛然将恒星外壳撕碎、吹散。恒星外壳的这种迅猛异常的碎裂过程，就是超新星爆发。飞散的碎片或碎末就成为爆发的遗迹。

超新星爆发时释放的能量大得惊人，它一秒钟放出的能量，相当于一百亿亿颗百万吨级的氢弹爆炸的能量。由于爆发，恒星的光度会突然增加上千万倍甚至一亿倍以上，比太阳亮几亿倍甚至几十亿倍。难怪1054年出现的那颗超新星虽然与地球相距5,000光年（1光年=9.5万亿公里）之遥，却在白天都能看到。

到它光芒四射了。

还有更壮丽的景象。在南半球天空的船帆星座中，距今一万多年前出现过一颗超新星。它距离地球近多了，只有1,500光年。在地球上看来，它应该象十五的月亮那样亮。可惜那时的人类不可能留下任何关于这次奇观的记载，而今天的我们又还没有遇上这样的机会一饱眼福。

自有人类文明史以来，银河系里被人们记录下来的超新星，已经确定的有七个。另外，银河系里还有十来个能发出很强的无线电辐射的天体，称为射电源，它们有的象蟹状星云那样，也是星云；有的则是一组向四面八方飞奔的碎片，很可能都是超新星的遗迹。例如，在仙后星座有一个射电源，是除太阳以外全天空最强的射电源，它是一组从一个中心点向各个方向高速散开的碎片，是大约三百年前爆发的一颗超新星的遗迹。据估计，银河系里平均每五十年左右出现一颗超新星。从十九世纪后期开始，在银河系以外的其它星系——河外星系里还发现了更多的超新星，到现在，已经有好几百个了。

说到这里，有人可能要问，是不是每个恒星都要经过这种超新星爆发的过程呢？我们的太阳将来会不会爆发呢？回答是，太阳不会象超新星那样爆发，也

不是每个恒星都要经过这种爆发过程。恒星晚期可以有各种不同的演化方式，这主要取决于恒星原来的质量大小。质量小的恒星一般不经过爆发阶段，只有质量比太阳还大的恒星才可能发生超新星爆发这样的剧变过程。

超新星与地球和人类的关系

超新星爆发是很大一部分恒星演化进程中的一个阶段。研究超新星，对于我们了解恒星演化的规律，对于认识宇宙中丰富多采的物质运动，对于物理和化学科学的发展，都有很重要的意义。然而还不止于此。你是否想到，那在遥远天外发生的短暂的超新星爆发事件，对于我们太阳系的形成，对于地球上的生物和人类生活，都有非常重要的影响哩。

前面说过，各种比铁族更重的元素，不能由恒星内的热核反应形成，它们是在超新星爆发的时候形成的，爆发之后，就被抛进了茫茫太空。经过了不知多少亿万年，它们成了形成太阳系的原始星云的组成部分。又过了多少万年，它们才在地球上定居下来。地球上现存的较重的元素，除了为数极少人工制造的以外，全部都是超新星爆发遗留下来的“灰烬”。从青铜时代的巨鼎和中古时代炼丹术士们手中的水银化合

物，到近代传播文化的铅字，一直到现代的原子能工业用的铀和钚，以及那从古到今都用作货币的金、银，全都是超新星爆发给我们送来的。甚至我们人体也与这些元素有密切的关系，铁、铜、锌、钼等元素都是生命所必需的。人缺了铁就会发生贫血，缺了碘会得粗脖子病，吃了含镉或汞的东西会中毒。可以说，许多金属离子的相生相克，影响着人体的全部生命过程。不妨设想，如果没有几十亿年前的那些超新星爆发，

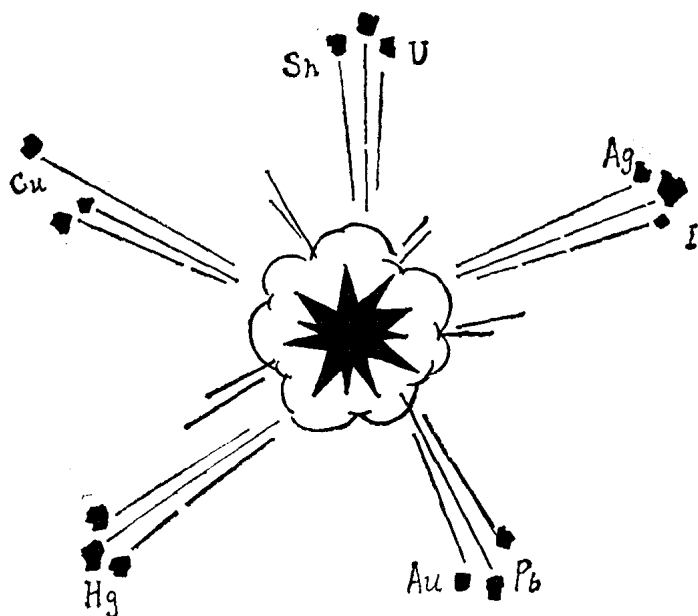


图5 超新星爆发送到地球上的重元素

今天的地球该是个什么样子？

超新星不仅与我们人类今天的生产和生活有密切关系，说远一点，它对人类出现以前远古时代生物的生活还可能有过重大的影响。距今七千万至两亿年以前，地球上曾经是恐龙的世界，那时的天上、地上、水里，到处都生活着这类怪异的动物。但是后来，它们突然在很短期间内灭绝了。其中原因，一直众说纷纭，有的认为是气候的急骤变化，有的认为是食物的减少，也有的认为是吞食了有毒的植物，等等。但是最近有人提出了一个有趣的观点，认为恐龙灭绝的原因可能不在地上，而在天上，是由于一颗很接近地球

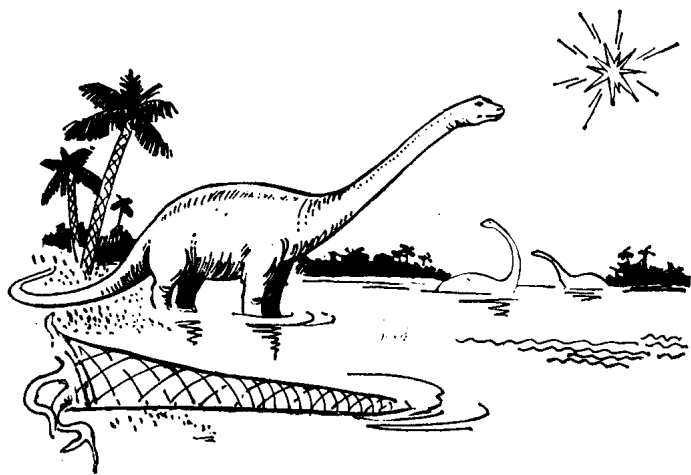


图6 超新星爆发所产生的极强辐射，有可能是恐龙灭绝的原因

的超新星爆炸，所产生的极强辐射杀死了恐龙。这种观点的证据是，对古老地层的岩石的分析表明，在恐龙刚好灭绝的时期，地球的含铱量突然增加了二十倍，铱是一种重金属，它应当是来自超新星爆发。

再说远一点，超新星还可能对太阳系的形成起了直接的作用。在太阳系形成的星云说中，有一个问题一直是不很清楚的。这就是，原始气尘云怎样能自发地凝聚起来成为太阳和行星？最近提出的一种假说认为，这是由于邻近原始星云的一颗超新星爆发。这次爆发发生在太阳系形成之前大约两百万年的时候，爆发的冲击波造成的压力使原始星云开始收缩，于是星云的密度增大。当密度达到一定的数值时，星云物质的引力才超过气体的压力，星云才进一步收缩，从而形成太阳系。

你看，超新星与太阳系、地球乃至我们人类以及一切生物的关系不是的确很紧密吗？天上人间紧相连，超新星为这个真理提供了一个雄辩的证据。

二 转动的“灯塔”——脉冲星

超新星爆发时，外壳炸掉了，成为星云或碎片，引力坍缩形成的中子核留了下来，这时就该叫它做“中子星”了。关于中子星的发现，也有一个有趣的故事，虽然不那么遥远，却更有戏剧性。

是“小绿人”在呼叫吗？

1967年10月，英国剑桥大学的一个射电天文台里，有一位名叫乔斯林·贝尔的研究生在辛勤地工作。她是个年仅24岁的姑娘，正操纵着一架工作波长为3.7米的大型射电望远镜，观测天体的行星际闪烁现象。

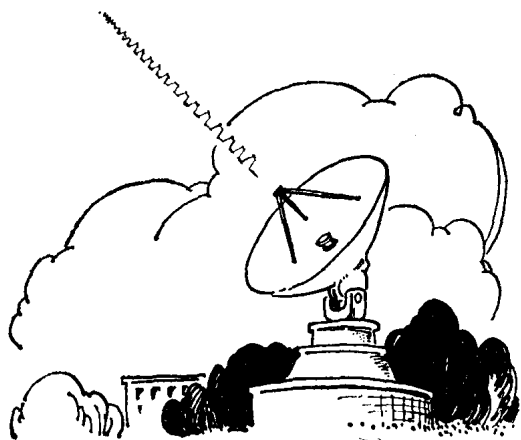
什么是行星际闪烁呢？在晴朗的夜晚，我们常会看到天上的星星在忽明忽暗地闪动，就象一群调皮的孩子在眨眼睛一样，这就是一种闪烁现象。这种闪烁是由于地球周围的大气密度不均匀，大气发生抖动所造成的。行星际闪烁则是另外一种闪烁现象。原来，太阳会不断地抛射出带电粒子，这些粒子以很高的速

度在各个行星之间的空间运动，就象一股疾风一样，天文学上就把这种粒子流叫做太阳风。一个天体发射的无线电波通过行星际空间时，由于受到太阳风吹动的影响，射电信号的强度会发生起伏变化，这种现象就叫做行星际闪烁。贝尔所操纵的这架射电望远镜，就是专门用来观测这种闪烁现象的。

这一天，贝尔和往常一样，仔细地分析着自动记录仪给出的记录纸带。她很意外地发现，在狐狸星座中有一个闪烁是深夜时出现的。这是很奇怪的事情，因为深夜时太阳是在地球的背面，这个时候由太阳风引起的闪烁是非常小的，可以肯定这个闪烁与太阳风无关。这个闪烁在以后的日子里继续出现，而且总是出现在天空中同一位置，可是在这个位置上并没有已知的射电源。

贝尔感到这些现象难以解释，于是就去请教她的老师安东尼·休伊什。

休伊什



是一位很有贡献的天文学家。他和贝尔一起改用高速记录器来研究这个闪烁的精细结构，结果发现，原来这个闪烁并不是那种无规则的跳动，而是一系列很有规则的脉冲。所谓脉冲，就是象人的脉搏跳动那样，一下一下出现的很短促的无线电信号。这些无线电信号每隔1.337秒出现一次，周期极其准确、极其稳定，就象一架电台在工作。

这是地球上的电台发射的讯号吗？这种可能性很快就被排除了。因为休伊什他们注意到，这个闪烁的行为每隔23小时56分的时间就重复一遍。这显然表明这个闪烁是天上的事情，它的重复性正是地球自转运动的反映。

是其它星球上有理智的居民给我们发来的电报吗？这可是个诱人的想法。关于地球以外是否存在文明这个问题，自古以来曾引起多少人沉思，多少人幻想！常常是“多情却被无情恼”，但总在失望之后又产生新的希望。有人曾经想象过这样一种高级智慧生物，由于他们所居住的星球的引力很大，或者由于他们文明的高度发达而体格退化，因而个子很矮小，而且那种“人”也许不象地球上的人这样要依靠植物生存，而是自身就能象植物那样直接利用恒星的光能，因而他们的皮肤就和树叶一样是绿色的。概括这种

“人”的特点，一是“小”，二是“绿”，于是就叫“小绿人”。在休伊什亲自参加贝尔的工作以后不久，又陆续发现了另外三个也发出这种准确而稳定的无线电脉冲的“源”，他们想起了“小绿人”的故事，就把这些“源”分别起名为“小绿人一号”、“小绿人二号”……

休伊什他们收到的讯号果真是“小绿人”向地球发出的呼叫吗？仔细考察一下不免又使人失望，这种设想是不能成立的，因为不可能有这样巧的事：如此之多的星球上的智慧生物同时在同一个波长上给地球发电报！而且电讯专家也曾经象沙里淘金一样分析过那些讯号，然而并没有能淘出“金子”来，那些讯号只是一系列的单调重复而已，从中找不出任何有意义的信息。

没有其它可能性了，这种讯号只能是自然界自身的产物，它一定是由一种前所未有的天体发出来的。休伊什只好撇开“小绿人”，把这种新天体叫做“脉冲射电源”。著名的英国《自然》杂志的编辑深知这个新发现的重要，1968年2月，在这家杂志最醒目的位置上发表了休伊什等人的文章，题目是《发现快速脉冲射电源》。这个发现果然很快轰动了全世界的天文学界和物理学界。这种奇特的发射无线电脉冲的天

体，后来被取了个简单的名字，就叫“脉冲星”。世界各国的许多射电天文台纷纷投入了寻找新的脉冲星的工作。到1978年，脉冲星已被找到三百多颗了。它们都在银河系内，图7表示出了它们分布的情况。估计银河系里脉冲星的总数至少有十万颗左右。

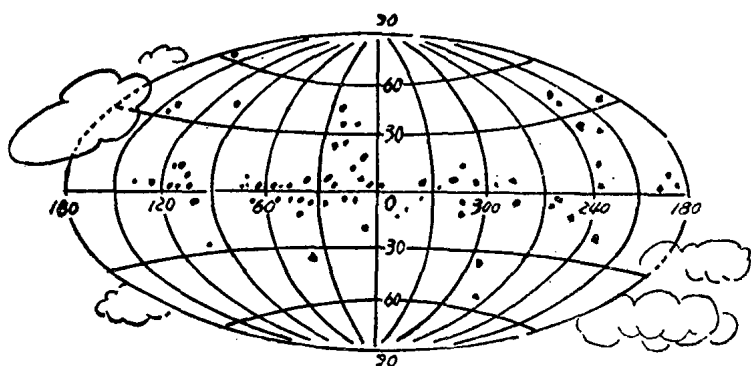


图7 脉冲星的位置

科学预言的光辉胜利

从上面所说的看来，脉冲星的发现似乎完全是偶然的，它也象一位“不速之客”，自己闯入了天文学的舞台。其实不然。科学家们早就在理论上预言过这种奇特天体的存在，并且已经寻找它三十多年了。它才真正是一位难请的“贵客”呢。

1932年发现中子以后，苏联著名理论物理学家朗

道马上想到，宇宙中可能存在一种中子星，这种星几乎完全由中子组成，因而具有极高的密度。那么，这种中子星可能通过什么途径形成呢？美国科学家巴德和兹维基首先提出，中子星可能是在超新星爆发过程中形成的。1934年，他们发表了一篇题为《超新星及宇宙线》的短文，只有四百个字，却对超新星爆发的过程作了全面的推测。文章的最后几句话是：“作为存照，我们还提出这样的观点：超新星是表示从普通星到中子星的过渡，所谓中子星，就是星的最终阶段，它完全由挤得很紧的中子构成。”1939年，有的物理学家还进一步建立了一个中子星的简单模型，预计这种星的质量与太阳同数量级，但体积很小，直径大约只有几十公里，因而密度高达每立方厘米几亿吨。

上面这些预言，是运用核物理、量子论和广义相对论等多方面的物理理论得出的，是有科学根据的。但是，这种预言中的天体的性质实在太不寻常了，以密度而论，就高得叫人难以置信，所以许多人抱着冷眼旁观的态度。而事实上，在三十多年里天文学家们也一直没有找到什么中子星。随着岁月的流逝，一些原来相信中子星假说的人也对这种渺无踪影的东西失去了兴趣。关于中子星的预言也就备受冷落，被贬为物理游戏，甚至有人讥讽道：“究竟有多少天使能在

中子星头上跳舞呢？”

就在这种情况下，休伊什等人的发现公布了。经过进一步观测研究，科学界很快公认，脉冲星不是别的，正是那几乎已被人们遗忘的中子星。这种情形，正象我国宋代大词人辛弃疾在一首词中所描绘的那样：“众里寻他千百度，蓦然回首，那人却在，灯火阑珊处。”

现在看来，脉冲星之所以直到1967年才发现，主要是观测技术方面的原因。用光学望远镜一般是看不到脉冲星的，而一般的射电望远镜的时间分辨率往往又不够。比如说，贝尔发现的第一颗脉冲星，每两个脉冲之间的时间间隔是1.337秒，其它脉冲星的脉冲周期，更有短到0.033秒的，最长的也不过3.745秒。当时，一般射电望远镜能够分辨的时间间隔通常都在10秒钟以上，甚至长达几分钟，当然就发现不了脉冲星的讯号。但是剑桥大学的那架射电望远镜不同，是专门设计来观测行星际闪烁现象的。由于这种闪烁变化很快，所以这架望远镜的时间分辨率必须很高，因而很适宜于分辨出短周期的脉冲讯号，发现脉冲星也就并非偶然了。

脉冲是怎样形成的？

那么，怎么知道脉冲星就是中子星呢？在弄清楚这个问题时起了主要作用的，倒不是贝尔发现的第一颗脉冲星，而是又过了一年才找到的蟹状星云中的那颗脉冲星。你看，我们这本书第一章中的主角，又要在这里大显身手了。

说来也怪，人们对蟹状星云从十八世纪观察到二十世纪的六十年代，一直只顾注意那膨胀的星云，到1968年10月才知道，原来星云的中心还有个宝贝，那是一颗不太亮的恒星，它是超新星爆发后的残骸，也是一颗脉冲星。这颗星一出场就压倒群雄，成了近十余年来天文学家研究得最多的一个天体。它的特别可贵之处，就在于是迄今所知唯一的全波脉冲星。贝尔发现的那颗星，是一颗射电脉冲星，只发射无线电脉冲讯号。而蟹状星云中心的脉冲星，则不仅在无线电波段，而且在红外、可见光、X射线和 γ 射线波段，也就是在全部电磁波波段上都发射脉冲讯号。所有这些讯号都是每隔0.033秒也就是三十分之一秒出现一次，周期非常短促、非常稳定。这样规则的脉冲讯号究竟是怎样产生的呢？

能够产生脉冲现象的天体运动方式有三种。下面

我们就来逐一分析一下。

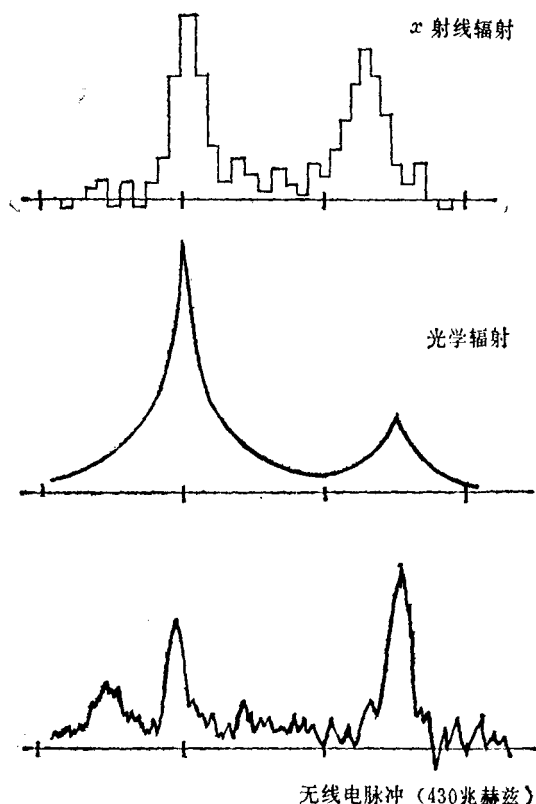


图8 蟹状星云脉冲星的脉冲辐射

第一种运动是恒星的脉动，就是整个恒星的体积时而膨胀、时而收缩，就象人们呼吸时胸部一起一伏那样。这种有节奏的运动能够造成恒星光度的周期性

变化，因而形成脉冲。但是，前面说过，脉冲星的脉冲周期最长的为3.745秒，最短的为0.033秒，二者相差一百倍，对于恒星的脉动，可以计算出，如果脉动周期相差一百倍，恒星的密度就要相差一万倍，而同一类型的恒星的密度是不可能有这么大的差别的。再说，恒星作脉动时，其周期无论如何也不可能维持象脉冲星的周期那么高的稳定性。因此脉冲星不可能是一颗脉动的恒星。

第二种运动是两颗恒星互相绕着转，这样它们就会周期性地互相遮掩，于是在地面上就会观察到一颗星的辐射出现时断时续的现象，这样也就形成脉冲。很明显，要产生周期很短的脉冲，这两颗星必须体积很小而密度很大，并且相互靠得很近。但是，按照现代的物理理论，这样两颗星的轨道运动会产生很强的引力辐射而损耗能量，使它们运动的轨道很快地发生变化，轨道变了周期也就变，不可能维持稳定的脉冲周期。所以这种可能性也应当排除。

于是只剩下了最后一种可能性，就是恒星的自转。为什么自转能形成脉冲呢？打个比方，我们乘坐轮船在江上或者海里航行时，都看到过灯塔。设想一座灯塔总是亮着的，但是在不停地转动，灯塔每转一圈，由它的窗口射出的灯光就照射到我们的船上一次，在

我们看来，就好像是灯塔在一亮一灭。脉冲星正象一座转动的灯塔，它每转一圈，我们就接收到一次它的辐射，于是就形成了一断一续的脉冲。脉冲星的这种现象，也就叫做“灯塔效应”。原来，脉冲星的脉冲周期其实就是它的自转周期。

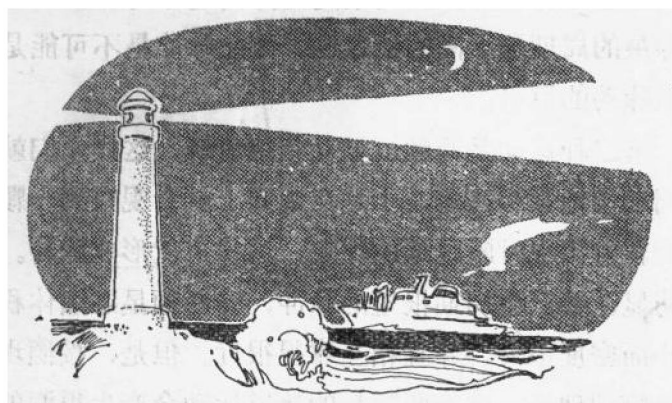


图9 脉冲星正象一座转动的灯塔

再回到蟹状星云中心的脉冲星上来。这颗星的脉冲周期是0.033秒，也就是说它只用三十分之一秒的时间就能自转一次。这样高速自转的天体，它本身的体积一定是很小的。因为高速自转会产生很大的惯性离心力，一个体积大的天体如果这样快地转动，那早就把自己的外层部分给甩出去了。但是，另一方面，又观测到这颗星的光度，也就是每秒钟辐射的总能量却

很大，大约是太阳光度的一百倍，这又表示它的质量一定是很大的，否则就不可能有这么大的发光本领。质量很大而体积又很小，说明这颗星的密度非常之高。计算表明，这种密度高到以前已知的任何一种天体都无法达到，只有那全由挤得很紧的中子构成的中子星才可能具有。经过这样一番分析，可以得出结论：脉冲星就是高速自转着的中子星。

但是还有一个问题，灯塔的光只能从窗口射出来，是不是说中子星的光也只能从某个“窗口”发出来呢？正是这样。中子星发光跟太阳不一样，太阳表面到处发亮，而中子星上只有在两个相对着的小区域才有辐射出来，其它地方辐射是跑不出来的，也就是说它上面只有两个亮斑，别处都是暗的。这是怎么回事呢？这个原因就在于中子星上存在极为强大的磁场，强磁场可以把辐射封闭起来，使中子星的辐射只能沿着磁轴方向，从两个磁极区出来，这两个磁极区就是“窗口”。这个道理，与近年来常常听说的“受控热核反应”的原理有些相似。前面说过，氢核聚变的反应会放出巨大的能量，但是 we 希望能控制这个反应的进行，不要形成爆炸，而是慢慢地把能量释放出来，这样才能加以利用。怎么控制呢？关键的技术，也是用极强的磁场，把上千万度的高温核燃料控制在一个

小范围内，以便维持适当的温度和密度，保证反应按照人们所希望的速度进行。强磁场能够控制热核反应，

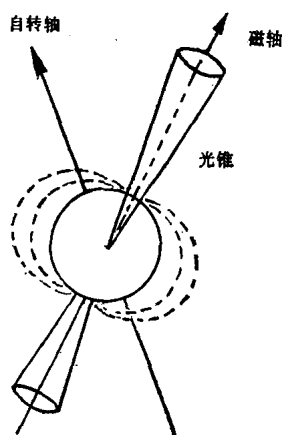


图10 中子星的辐射

同样也能约束中子星的辐射。

中子星的辐射从两个“窗口”出来后，在空中传播，形成两个圆锥形的辐射束。如果地球刚好在这束辐射的方向上，我们就能接收到辐射。中子星每转一圈，这束辐射就扫过地球一次。

但是，地球在茫茫太空中实在只不过是一颗小小砂粒，很容易想到，一定还有更多的中子星，它们的辐射束并不扫过地球，在我们看来它们就并不表现为脉冲星了。这样看来，银河系里中子星的数目比脉冲星的数目不知要多上多少倍呢。

中子星的奇异性质

现在，让我们再来具体描绘一下中子星各方面的性质。尽管你如何善于想象，你还是会觉得这些性质实在太奇特了，简直使人目瞪口呆，难以相信。

中子星的体积很小，它们的半径一般是几十公里

的样子，一个地球内可以装下一千万颗中子星。它们的密度却高达每立方厘米几亿吨甚至几十亿吨。中子星上一个核桃那么大小的物质，要几万艘万吨轮船才能拖得动。如果有谁来到中子星上，那可就糟了，即使他有一副钢筋铁骨，也远远支撑不住自己的体重，巨大的重力立刻会把他压成一张薄饼。

为什么中子星的密度会这么大呢？这个道理不难理解。我们知道，通常的物质都是由原子构成的。原子中有原子核和电子，电子绕核运动的轨道半径比原子核的半径要大十万倍，也就是说，电子与核之间有很大一块“空地”。可见在原子内部除核以外的地方，物质的分布是很稀疏的，空空荡荡，大致好比方圆五十公里的范围内才住有一个人，而方圆五十公里内足以兴建一座大城市呢。可是在中子星里，电子都被压进了原子核内同质子结合成了中子，原来的大块“空地”没有了，到处都是挤得紧紧的中子，物质的密度不是当然就会大大升高吗？一头大象，也是由原子构成的，如果把这些原子也这么来挤压一下，那么这头“中子象”有多大呢？它可以绰绰有余地从针眼里穿过去。

中子星的表面温度是一千万度，中心温度更高达六十亿度，是一个少有的超高温世界。要知道太阳的

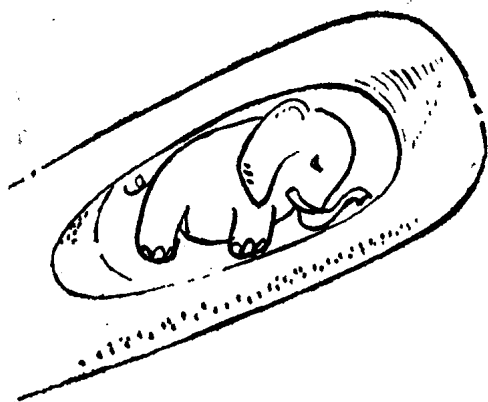


图11 大象穿过针眼

中心温度也只不过一千五百万度而已。中子星中心的压力是一万亿亿亿个大气压，比太阳中心压力大三亿亿倍，又是一个少有的超高压世界。太阳的普遍磁场强度只有一、二高斯（高斯是磁场强度的单位），地球磁场的强度更小，只有半个高斯，而中子星表面磁场强度高达一万亿到二十万亿高斯。中子星的能量辐射是太阳的一百万倍。按照目前世界上的用电情况，它一次脉冲的能量如果转化为电能，就够全世界用上一亿年。

从这些简单介绍已经可以看到，中子星具有超高密度、超高温、超高压、超强磁场、超强辐射等各种“极端”物理条件，这些条件是目目前地球上的实验室

里根本无法实现的，这可使物理学家们大大开阔了眼界。地球这个环境实在是太狭小了，可不能认为地球上没有的东西就一定不可想象，天上也一定不能有。中子星不就给我们提供了一个目前地球上建不起来的天然的理想实验室吗？这个实验室可以用来研究各种极端条件下的物质状态和特性，这对物理科学和各种极端技术的发展是一个巨大的促进。

脉冲星的发现并被证实为是中子星，为恒星晚期演化的理论提供了关键性的支持，为宇宙中物质形态多样性的观点提供了有说服力的证据，为现代物理科学的发展提供了新的领域和新的动力。这一发现的意义的确是十分重大的，它当之无愧地被列为二十世纪六十年代天文学的四大发现之一。

三 一身是谜的类星体

类星体和脉冲星一样，也是六十年代天文学的四大发现之一。但是，这两位现代天文学舞台上的“名星”出场的方式可是大不相同。脉冲星是科学家们早已预言，苦苦寻觅，“千呼万唤始出来”的。它一旦被发现，顿时轰动世界，一举成名。类星体则不然，它的出现是人们没有预料到的。它悄然登台，开始时似乎貌不惊人，然后就从容表演，将自己的奇特性质一样样显示出来，吸引着天文学家和物理学家们从一个难解之谜走向另一个更为难解之谜，它甚至向当代天文学和物理学的许多基本理论都提出了尖锐的挑战。人们才逐渐认识到这位角色果然身手不凡，必须刮目相看。

谱 线 之 谜

类星体的故事得从1960年讲起。在那以前，射电天文学家已经记录了天空中几百颗射电源，也就是发

射无线电波的天体。光学天文学家也已经成功地识别出其中有些是银河系内的气体云，另一些是河外的射电星系。但是，还有一些射电源没有找到相对应的光学天体，也就是说，虽然用射电望远镜探测到了这些源的存在，而在光学望远镜里却没有看到它们。人们猜想，这些射电源大概也是射电星系，只不过是离我们太遥远了，因而不容易被看到罢了，那么就改用口径更大的望远镜来试试吧。

1960年，美国的天文学家利用当时世界上最大的五米口径的光学望远镜观察了一个名叫3c48的射电源（3c是英国剑桥射电天文台所编的第三本射电源表，这个射电源在该表中被排在第48号），结果发现它并不是一个射电星系，而是一颗很暗的颜色发蓝的星。不久以后，又有人发现另一个射电源3c273，也对应着一颗暗星。一般恒星的射电辐射是极其微弱的，如果这些射电源真是能发射很强的无线电波的恒星，那倒也是一个有意义的发现。看来有必要对它们认真研究一番了。天体物理学家于是动用了自己手中的强有力武器——光谱分析。

原来，每一种原子、分子或离子，都只能发射或者吸收一些特定波长的光线。把一个物体发来的光设法分解开来，成为一根根不同波长的光线，这些光线

投射到屏幕或照相底片上，就成为按波长的长短次序排列起来的光谱。天然的光谱谁都见过，雨后的彩虹就是太阳的光谱。如果你有一个棱镜，也能将太阳光分解成象彩虹那样按红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的顺序排列的光谱。不过这样得到的光谱其实只是太阳光谱的一部分，是肉眼可以看见的光这一部分。太阳和其它天体都还会发射肉眼看不见的光线。这些光线和可见光一样，都是电磁波。它们和可见光的区别就在于波长不同，象红外线、微波、无线电波，波长就比可见光的波长要长，象紫外线、X射线、 γ 射线，波长就比可见光的波长要短。将某个天体发来的全部电磁辐射，包括可见光和不可见光，都按波长排列起来，才得到这个天体的完整的光谱。拿天体的光谱与实验室里已掌握的各种元素的特征谱线相比较，就能

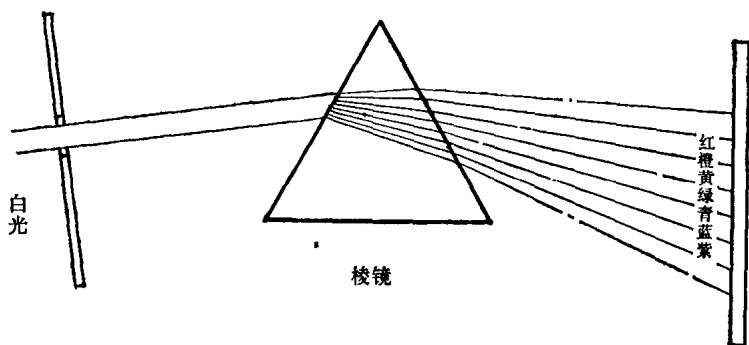


图12 可见光的光谱

判断出这个天体上存在一些什么物质，含有一些什么元素。这种方法就叫做光谱分析。利用光谱分析不仅可以查明天体的化学组成，而且还能推断天体表面的压力、温度、磁场强度等物理条件以及天体的运动速度。

但是，当用光谱分析去研究这些发出强射电辐射的“星”时，怪事出现了。这些射电星的光谱与以前积累的几十万颗恒星的光谱都不一样，它们的谱线是谁也没有见过的。不同的谱线按说应该对应着不同的元素，难道这些射电星的化学成分同我们地球和一般恒星的化学成分都不一样吗？如果不一样，它们上面究竟含有什么古怪的新元素呢？是不是元素周期表上又要增添一批新成员了呢？这就是颇为有趣而又令人迷惑的谱线之谜。

谱线之谜的关键性突破是在1963年。当时，有一位名叫施米特的科学家仔细研究了射电源3C273的光谱。他独具慧眼，看出来其中有四条谱线，从它们相互之间的间隔关系来看，与氢元素的原子光谱中的四条谱线很相象，只是3C273的那四条谱线的波长比正常氢原子谱线的波长要长得多。这只是一种偶合现象还是有深刻的原因呢？施米特来了个大胆的尝试，他让正常氢原子那四条谱线来一个集体搬家，都向长波

方向移动一段距离。移动多少呢？各自移动到原来波长的1.158倍的位置上，这样就正好与3c273的那四条谱线完全重合。例如，正常氢原子那四条谱线中有一条的波长为4,861埃（1埃= 10^{-8} 厘米），还有一条的波长为4,340埃，各自乘以1.158后得到的结果为5,630埃和5,030埃，正好分别是3c273光谱中的两条谱线的波长。

令人兴奋的是，这个办法真灵。只要找出某一个倍数，把那些射电星的谱线看作是正常元素的谱线共同移动了这样一个倍数的结果，问题就迎刃而解，所有射电星的那些本来根本无法辨认的谱线都可以辨认出来了。例如，对于3c48来说，这个倍数是1.367。原来，那些射电星上并没有什么未知的新元素，它们的光谱也就是地球上常见的一些元素的光谱，只是光谱线都向长波方向移动了一段距离而已。

在红、橙、黄、绿、青、蓝、紫这七种颜色的可见光中，红光的波长最长，紫光的波长最短。光谱线向长波方向移动，就叫做红移，向短波方向移动当然就叫紫移了。红移和紫移对天文学家来说，倒不是什么陌生的事情。一般恒星的光谱线也有红移或者紫移现象，但是移动的数量很小，谱线只是向近旁稍有偏离而已，不至于影响辨认。而这类射电星的谱线却只

有红移，没有紫移，更奇怪的是红移量非常之大，比一般恒星的要大上百倍甚至上千倍。一条波长比紫光还要短的紫外波段谱线，经过这么大的红移之后，波长就可能变得比红光还要长，也就是说它跨越了整个可见光波段而跑到红外波段去了。正是由于这种巨大的红移，才把那些射电星的光谱弄得面目全非，好不容易才穿云拨雾，认出庐山真相。

总起来说，这种射电星有这样一些主要特征：有很大的红移，有很强的射电辐射，在光学望远镜中看来是象恒星那样的小点，颜色显得发蓝，于是就把它们叫做类星射电源。后来，又发现了一种虽然并没有强射电辐射，但也同样有很大红移的天体，在光学望远镜中看起来也象颗恒星。天文学家就给这两种看起来类似恒星但又毕竟不是恒星的天体取了个总的名称，叫做类星体。到1977年时，类星体已被发现一千多个了，其中类星射电源有三百多个。

红 移 之 谜

类星体的谱线之谜至此似乎是已经解开了。但是且慢高兴，这只是一个序幕而已，接踵而来的还有一系列令人困惑不解的难题。首先一个问题是，类星体的巨大红移是怎样产生的呢？物理学中最常见的一种

能够产生红移现象的效应是多普勒效应，因此科学家们自然首先想到用它来解释类星体的红移。

多普勒效应是怎么回事呢？举个极常见的例子就能明白了。当我们坐在快速前进的火车里时，如果前方也有一列火车鸣着汽笛迎面开来，它的汽笛声在我们听来会变得特别尖锐刺耳。而当那列火车擦身而过之后，它的汽笛声便一下子低沉下来。这是因为朝着我们运动的声源发出的声波在我们听来频率会变高，而背离我们而去的声源发出的声波频率会变低。这就叫多普勒效应。多普勒是一位奥地利的物理学家，这个效应是由他首先发现的。

光波和声波一样，也有多普勒效应。当一个天体朝着我们运动时，它发的光的频率在我们看来就会变高，光的波长是和频率成反比的，频率变高也就是波长变短，这就是紫移。反过来，当天体背离我们而去时，它发的光频率变低，波长变长，这就是红移。

二十世纪以来的天文观测发现，除了我们银河系近邻的少数几个星系之外，其它数以亿计的河外星系的光谱线都一致地表现出红移，用多普勒效应来解释，表明这些星系都在背离我们向远方奔去。按照美国天文学家哈勃在1929年总结出来的规律，红移越大，表明星系的退行速度越大，同时也表明星系与我们的距

离越远。天文学上把这种与距离有关的红移叫做“宇宙学红移”。

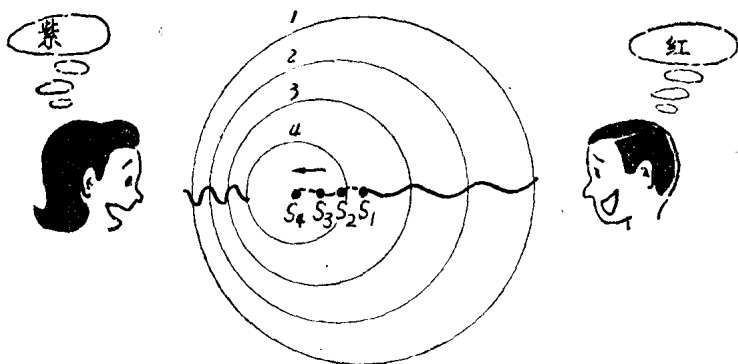


图13 光源S向左移动，右边的人看到红移，左边的人看到紫移

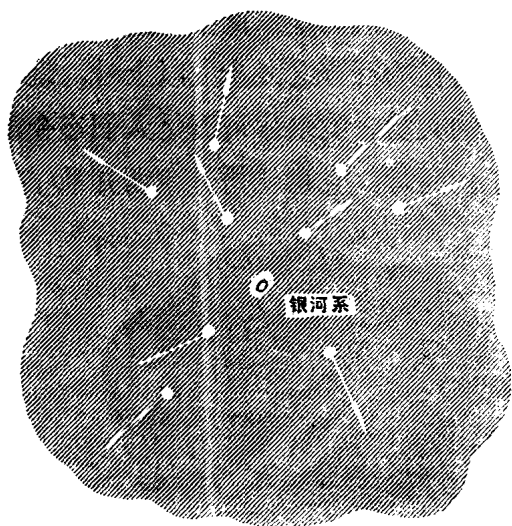


图14 在银河系看到的星系的退行（在其他任何星系看到的也是同样景象）

如果类星体的巨大红移也和河外星系一样是宇宙学红移的话，那就表明它们离我们极其遥远。根据哈勃定律可以估计出它们都远在几十亿光年甚至上百亿光年之外。光的传播速度是每秒钟三十万公里，光年就是光在一年的时间里走过的距离。这样看来，我们今天接收到的类星体的光是它们在几十亿年甚至上百亿年前发出的。要知道太阳系的年龄也不过五十亿年左右，人类的历史更短，大约只有三百万年。这就是说，在太阳系形成之前，这些光线就已经从类星体发出，踏上了漫长的旅程。当这些光线在茫茫宇宙中以每秒三十万公里的速度一刻不停地前进的时候，我们的太阳诞生了，我们的地球诞生了。当这些光线已经走完了它们路程的百分之九十九以上时，地球上才开始出现最初的人类。类星体可真是人们迄今所知最遥远的天体了！同时，它也就是迄今所知最古老的天

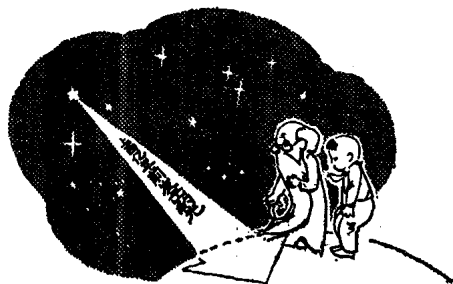


图15 在太阳系形成以前，类星体射向地球的光线就已经踏上旅途了

体。因为既然我们现在看到的类星体其实是它们在上百亿年前的形象，那它们诞生的时间距今必然就在百亿年以上了。不难明白，我们所看到的天体空间距离的远近序列，其实就是它们所存在的时间的先后序列。我们在空间上看得越远，也就是在时间上看得越早。

离我们那么遥远的类星体并不是静止在那里，而是正以极高的速度背离我们向更远的远方奔去。可以计算出，3c273 的退行速度是每秒五万公里，是光速的百分之十六；3c48 的速度更高，达到光速的百分之三十七；还有的类星体退行速度竟高达光速的百分之九十一，也就是每秒二十七万多公里。从目前地球实验室中大型加速器里射出来的质子速度也只有光速的百分之三十，就是每秒九万公里。而现在以每秒二十七万公里的速度运动的不是个别粒子，而是整个巨大的天体，这的确是令人难以理解的。

然而困难还不止于此。把类星体的红移归为宇宙学红移，还会带来一个更难回答的能源问题。由于这些困难，有的科学家就试图给红移的起因作出别的解释。现在我们先来谈谈能源问题，至于红移之谜到底能否解开，那就得请听下回分解了。

能 源 之 谜

类星体离我们既是如此遥远，但竟然还能用望远镜看到，那它们的亮度该有多大啊！按照在观测基础上所作的计算，一个类星体发出的可见光比一个普通星系发的光还要强上百倍，而象银河系这样的一个普通星系里包含着一千五百亿颗恒星！中国古代小说上常有什么“万夫不当之勇”之类的话来夸张一个人的勇力。但是，要想如实描绘一下类星体的亮度的话，恐怕连文学家们也会感到词汇不够了。更何况可见光波长上的能量输出只不过是类星体全部能量输出的一小部分而已，除了可见光以外，它还会发出其它波长上的辐射。拿射电辐射来说，有些类星体发射的无线电波的能量，竟超过银河系的十万倍！

更为惊人的是，类星体的体积并不大，比普通星系要小得多，类星体的直径一般只有星系的十万分之一甚至百万分之一。这样小的体积内竟然能够产生出那么大的能量，象普通恒星那样依靠热核反应显然是远远不够的。那么是一种什么“怪物”在那里大显神通呢？围绕这个难题，科学家们绞尽脑汁，提出了种种假说。

有人设想，类星体的能量是来源于超新星爆发，

而类星体内每天都有一个超新星爆发。这样虽然可以解释一部分能量较小的类星体的能源，但对于能量更大的类星体还是无能为力。你看，真是天外有天，在第一章里那么神气的超新星，在类星体面前又是小巫见大巫了。

有人提出，类星体的能量是来源于正反物质的湮灭。湮灭是怎么回事呢？原来，对于自然界中的每一种基本粒子，都存在着对应的反粒子。比如说，有带负电的电子，就有一种带正电的阳电子；有带正电的质子，就有一种带负电的反质子。正、反粒子相遇时，会发生猛烈的反应而释放能量，反应后原来的粒子不再存在，这就叫湮灭。例如，电子和阳电子一旦相遇，就会湮灭，转变成光子，放出能量。正反物质的湮灭释放能量的效率虽然极高，但是反应速度太快。如果类星体依靠这种能源，只能维持很短的时间。而事实上类星体能长时间地稳定存在，这是这种假说所不能解释的。

还有人假定，类星体中心有一个巨大的黑洞。黑洞是理论上预言的一种天体，它具有极强的引力。什么物体一旦进入了它的引力范围，就被它吸了进去，再也跑不出来。就连跑得最快的光线都不能从它那里逃脱，所以我们就看不见它，黑洞也由此得名。如同

大坝后的水冲下来时会释放出能量一样，被黑洞吸引的物质在向黑洞坠落的过程中也会释放出能量，这种能量也是非常大的。但是，既然黑洞本身的存在还没有被完全证实，用它来解释类星体的能源就更只是一种假说了。

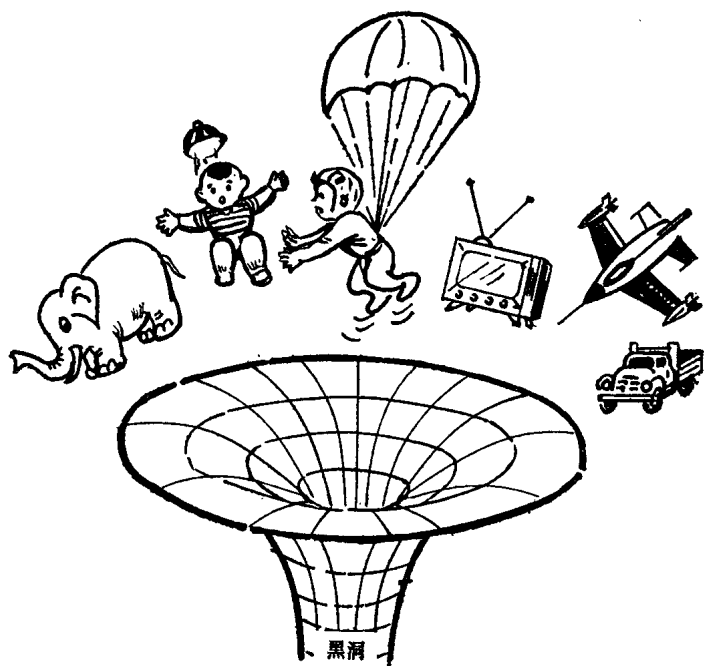


图16 任何物体一旦进入黑洞的引力范围，就被它吸了进去

还有其它一些说法，不再一一列举。总而言之，没有一个答案是令人满意的。

由于在能源问题上困难太大，有人就希望找到一

条能避开这个问题的途径。他们猜想，也许类星体根本就不是在那么遥远的地方，而是在银河系附近，甚至就在银河系内。这样它们发的光就和普通恒星差不多了，能量困难当然就不再存在。那么，类星体那巨大的红移又如何解释呢？

有人这样设想，也许类星体是银河系核心发生爆发时抛射出来的物体，红移是由于极高速的运动而造成的，也就是说，是多普勒红移而不是宇宙学红移。但是具体一算，就出毛病了，银河系核心根本没有那么大的能力把这么多类星体高速抛出来。而且由于我们太阳系并不在银河系中心而在比较靠边的地方，如果类星体真是由银河系核心抛射出来的话，我们就应该看到有的类星体背离我们飞去，有的却朝着我们飞来，就是说应该既有红移，又有紫移，然而事实上并没有紫移现象。所以这种设想是站不住脚的。

还有人干脆认为，类星体的红移可能根本就不是多普勒红移，也就是说它们既不在远处，也不作高速运动，它们的红移是由别的原因造成的。什么原因呢？物理学中还有一种能够产生红移的效应，就是引力红移。原来，光从天体表面发出时，必须克服天体的引力，这就要消耗能量。光波的能量是和它的频率成正比的，这就会使频率变低，出现红移。但是，这

种引力红移的数量级很小，不足以解释类星体的巨大红移。如果按照类星体的红移量来算的话，它的引力就会太强了，以至它根本就不可能稳定地存在，早就发生坍缩了。因此这条途径看来也是走不通的。

于是又有人提出了用类星体内部的结构和物质运动来解释红移起因的设想，还有人提出了“光子老化”、“基本粒子演化”、“基本物理常数变化”等等假说，百家争鸣，热闹非凡。

但是，所有这些理论都会引起新的更加难以解决的矛盾。全面权衡一下，还是宇宙学红移的一派观点利多弊少，证据比较有力。至少那数以亿计的河外星系的红移是宇宙学红移已有定论，推广到类星体应当是较为合理的。何况如下文即将说到的那样，类星体与星系之间本来有着实质性的关联，它们可能是一个演化链条上的不同环节。因此，目前世界上大多数科学家宁愿接受类星体的红移是宇宙学红移的观点。至于由此而来的能源问题，就有待于进一步探讨了。

总起来说，类星体的红移之谜和能源之谜的确使科学家们伤透了脑筋，但同时又使他们极感兴趣。因为历史经验已经证明，每当实践向原有理论提出了尖锐的困难问题时，也就意味着科学理论的重大发展快要来到了。无论是寻找到类星体能量的真正来源，或

者是探索出它们红移的新原因，都会导致天文学和物理学出现突破和飞跃。

演 化 之 谜

类星体之谜尽管深奥难测，科学家们在它面前却决不是一筹莫展。近年来在类星体的研究领域中，已经找到了一些看来是比较有希望的方向，其中之一就是对类星体进行具体分析。包括在类星体这个总名称下的大量天体，其实并不都是一样的，它们在形态结构、辐射特性等方面有着明显的差别。因此就不应当把它们笼统地放在一起研究，胡子眉毛一把抓，企图一举解决而结果一事无成。正确的做法应当是对它们加以分门别类，具体地分析它们红移的成因和其它各种性质，一把钥匙开一把锁。

例如，如前所说，类星体中有一类具有强射电辐射，称为类星射电源。类星射电源中的多数，具有这样一种结构：在它们的中心部分是一个光学物，在光学望远镜里看去是一个光点，而在两边有两个大得多的射电物，用光学望远镜是看不到的，但用射电望远镜可以观测到，这三者几乎在一条直线上。那两个射电物还在作相互分离的运动，这表明它们很可能是由中心光学物抛射出去的。于是就把中心那个光学物叫

做“光学母体”，两边的射电物叫做“射电子源”，这种类星体就叫做有射电子源结构的类星体。

我国的天体物理学家深入研究了这种类星体，取得了有意义的成果。他们证实了这种类星体的红移的确是宇宙学红移，不过红移与距离的关系不再只是哈勃定律那种简单的正比关系，而是要作一定的修正。他们还发现，在子源间的距离由于子源的分离运动而增大的同时，整个类星体的光度也随之而下降。

这后一个结果也是很有意义的。它支持了以前曾有人提出过的这样一种假说：有射电子源的类星体随着其子源的向外膨胀而逐步演化成射电星系。的确，这类类星体与射电星系有许多相似之处。刚才讲的那种双源结构也是许多射电星系所具有的一种很典型的结构。如果单从射电性质上看，是区分不出射电星系和这类类星体的。

然而，类星体又显然决不是星系。前面说过，类星体的亮度比星系大得多，体积又比星系小得多。在光谱的特征上二者也有显著差别。因此，从演化的角度来看，类星体和星系似乎是某个演化序列的两端，它们中间需要有一种处于过渡状态的天体来“搭桥”。

说曹操，曹操到。这种“搭桥”的天体果然是存在的。它是一种名叫“赛弗特星系”的特殊星系，由

其发现者——美国天文学家赛弗特而得名。这种星系的特点是有一个极其明亮而又非常小的核心。从亮度来看，最明亮的赛弗特星系和某些类星体相仿，而暗的赛弗特星系又几乎与通常的射电星系没有什么差别。有意思的是，在拍摄赛弗特星系的照片时，如果曝光时间短一些，就呈现出一个明亮的核心，看上去就象一个类星体；如果曝光时间长一点，得到的相片又完全象一个正常的星系。赛弗特星系的红移量比类星体的小，但在星系中来说又算是大的。从光谱的特征来看，赛弗特星系与类星体也很相似，但又有差别。

从这几个方面来看，赛弗特星系的性质的确恰恰位于类星体与正常星系之间，把类星体—赛弗特星系—正常星系排成一个演化序列看来是有道理的。如果如前所说类星体是迄今所知最古老的天体，那么就应该是类星体演化成为星系。当然，这还只是一种很粗略的设想，究竟是否正确，还需要科学家们做大量深入细致的研究工作。

“路漫漫其修远兮，吾将上下而求索。”也许可以说，除了生命的产生这个奥秘之外，类星体之谜是当今最大的宇宙之谜。目前看来，我们距离谜底大概还有一段相当长的路程。

四 星系核的伟力神功

上一章介绍的类星体既然与正常星系有着演化上的联系，那就说明它是星系一级而不是恒星一级的天体，因此似乎把它叫做类星系体还更恰当一点。这一章我们就来谈谈星系本身，谈谈发生在星系上的高能现象和过程。

星罗棋布的宇宙岛

近几个世纪来，随着望远镜的发明和发展，人类的视野逐步扩大到银河系这个庞大恒星王国的疆域。与此同时，从十七世纪开始，人们借助望远镜还陆续观察到一些不同于恒星的云雾状天体，开始时笼统地把它们称为星云。这些星云的本质是什么？历史上曾有过长期的激烈争论。一派主张，银河系就是整个宇宙，星云乃是银河系内的气体云。另一派人，从十八世纪的德国哲学家康德开始，则认为这些星云也和我们银河系一样是群星组成的体系，只不过离我们极

其遥远，因而看起来才成为模糊一片。德国博物学家洪保德在1850年首创“宇宙岛”一词，把星系比作浩瀚无边的宇宙“海洋”中星罗棋布的“岛屿”。此后，围绕宇宙岛问题的两种观点之争几度起伏。一直到本世纪二十年代前后，由于在某些星云中分辨出了单个的恒星，并且测定了几个星云的距离远大于银河系的直径，才确凿无疑地证明了在银河系之外还有众多的恒星系统——河外星系。然而第一派人也并没有

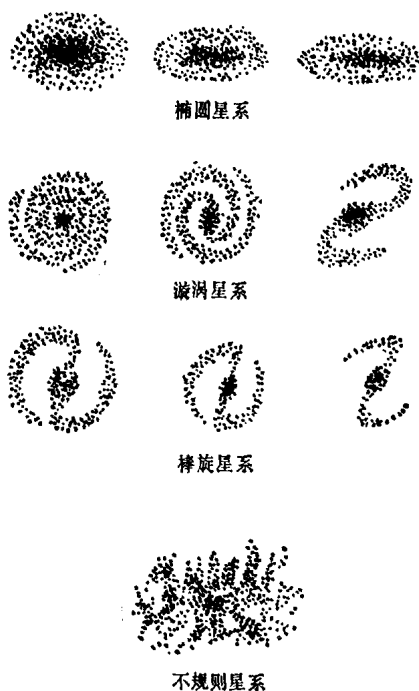


图17 河外星系的分类

全错，有些星云又的确是银河系内的气体云，其中之一就是那大名鼎鼎的蟹状星云。

目前仅用光学望远镜能看到的河外星系就约有十亿个。但是数目如此之多的星系其形态却并不复杂，可以分为寥寥几类。一类形似椭圆，中心区域最亮，越往外亮度越弱，叫做“椭圆星系”。一类状如旋涡，中心部分也是椭圆形，从中心延伸出去两条或更多条弯曲的旋臂，叫做“旋涡星系”。第三类有一根通过中心的“棒”，两条旋臂从棒的两端伸出，叫做“棒旋星系”。另外一类与前三类都不同，没有明显的中心，也没有什么规则的形状，就叫“不规则星系”。

有核星系与无核星系

每个星系都是由为数可达上千亿颗恒星所组成的庞然大物。星系与恒星，是只有数量上的差异还是存在本质上的不同？如果星系只是恒星的简单堆积，那么星系发的光就应当只是它所包含的所有恒星发光的总和，星系的光谱也就应当与普通恒星的光谱相类似，星系也就只是一群恒星的一个松散“联邦”、“和平乐园”了。

这样的星系的确是有的。离我们最近的两个河外星系——大麦哲伦云和小麦哲伦云就是如此。麦哲伦

是十五、六世纪之交时的葡萄牙航海家，他率领的船队首先将这两个星云的存在公诸于世。这两位“一衣带水”的邻居，晶莹夺目地高挂在南半球的天空中，可惜在我国除南海诸岛以外的地方都无缘鉴赏。它们虽然明亮，大体上却只发出普通的恒星光。也就是说，星系整体并没有表现出什么与单个恒星不同的活动现象。从形态上看，这两个星系都属于不规则星系。这

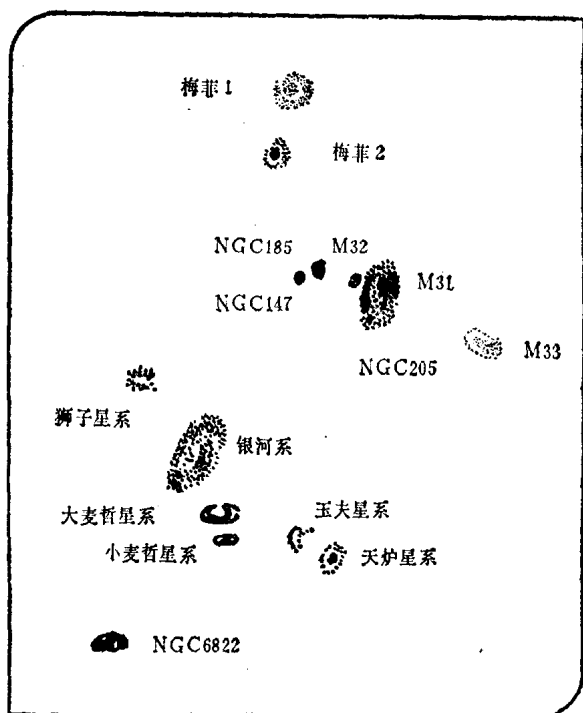


图18 银河系的一些近邻

些外形古怪的家伙，脾气原来却挺老实。但是，在星系世界中，这样的老实者并不多。不规则星系的数量是上述四类星系中最少的，只占全天空星系总数的百分之五。况且不规则星系中也还有些爱调皮捣蛋的，所以象大、小麦哲伦云这样平静的星系就更是少了。

大多数星系的情况如何呢？在普通的照片上看来，它们似乎也都很安宁。尽管有偶尔出现的超新星冲破沉寂的气氛，但毕竟是个别恒星的爆发，并不影响大局。就象一块石头投入静水池中，纵然暂时激起几道波纹，扰动过后，整个池面依然平展如镜。

但是，如果以为这就是所有星系的真相，那可就大谬不然了。在貌似平静的水面之下，可能有旋涡翻卷，可能有激流奔腾。科学家们当然不能“潜入水底”，钻到星系内部去看个究竟。他们唯一能做的，仍然是仔细分析星系发出的辐射，这是那些遥远的恒星王国给我们派来的唯一使者，它带来的每一个信息都是不应漏掉的。只观测可见光不行，观测范围必须扩展，向长波方向扩展到红外光、无线电波，向短波方向扩展到紫外光、X射线。即使在可见光波段，也不能只作那种混杂着各种波长的白光观测，而应改进为接近于单色光的窄波段观测。

经过这样一番既扩张视野、又剖析入微的努力，

终于发现，大多数星系所发出的辐射，并不简单地都是恒星光，而是或多或少地包含不同于恒星光的成分。恒星光科学家们了如指掌的，星系辐射中包含的非恒星光成分不难区别出来。这种并非恒星所能发出的光，就是星系与恒星有着本质不同的证据，它表明星系整体还有着不同于单个恒星的特殊性质和特殊活动。这本来是理所当然的。怎么可能设想，上千亿颗恒星的巨大集合体会没有一些单个恒星所不具备的特性呢？

既然大多数星系都具有不同程度的星系一级的活动，而大多数星系的形态又都有一个共同点，就是有一个比其它部分明亮的核心。而象大、小麦哲伦云那样的宁静星系又恰恰属于没有核心的不规则星系。这就很明显地启示人们：正是星系核对星系整体的活动性起了关键的作用。擒贼先擒王，研究星系的活动，必须首先抓住星系核。于是，星系那小小的核心，就引起了众多的天文学家的高度重视。

星系核的确很小，它的直径大约只是整个星系直径的千分之一左右。然而它的密度极大，星系核的质量一般都相当于几亿个太阳的质量。这个小而密集的核，乃是星系的“心脏”，这颗跳动的核心，是整个星系的血气之库，动力之源。星系中的种种大风暴，小动乱，大抵出于此核。

星系核活动的四种形式

人们对星系核活动现象的认真研究是从五十年代末开始的，二十年来，已经获得很多重要的发现。归纳起来，星系核的活动有这样几种表现形式。

第一种形式就是极强的辐射。星系核是星系中辐射最强的区域，不仅在光学望远镜中看来核比星系的其它部分要亮得多，而且在无线电、红外线和X射线波段上它也发出强烈的辐射。这种辐射的本性与一般恒星的辐射是不同的。一般恒星是由热核反应产生能量，并且它们的辐射是热辐射，辐射的强度与波长之间的关系遵守一定的规律。而星系核辐射的强度与波长之间的关系则与热辐射的规律完全不同，因此称为非热辐射。前面说的非恒星光，就是这种非热辐射。

非热辐射有很多种，其中有一种很常见的叫同步加速辐射。原来，带电粒子（例如质子或电子）在外加磁场的作用下会沿着圆形或螺旋形的轨道运动，速度接近光速的电子在外磁场中做这种运动时会产生出一种辐射。磁场越强，运动速度越快，辐射的能量也就越高。这种辐射最早是在电子同步加速器中发现的，因此就被称为同步加速辐射。

其实，同步加速的原理并不神秘，甚至许多小娃

娃都会熟练运用。他们在荡秋千时，知道要在秋千往
下落、越落越快的时候使劲蹬一下，也就是说，人的
使劲和秋千的加速总是“同步”的，结果秋千就能越
荡越高。相反，如果有个笨家伙偏偏在秋千上升的时
候使劲，那就不是在同步加速而是在减速了，越使劲
秋千反而越荡得低，弄不好还会停下来。同样的道理，
在同步加速器中，当带电粒子在磁场作用下运动时，
磁场的增强也必须与粒子的加速同步，粒子才会越跑
越快，从而产生辐射。由于在星系核中有强大的磁场
和大量的高能粒子，产生同步加速辐射的条件是具备
的。所以星系核的强烈辐射有可能就是这种同步加速
辐射。

星系核非热辐射的总能量高到什么程度呢？如果



图19 荡秋千中的道理

拿超新星来比，那就要一千亿颗超新星的能量才能抵得上。我们记得，超新星的发光本领超过太阳的几亿倍到几十亿倍，可见星系核的辐射威力是何等惊人！

星系核辐射的巨大能量并不象超新星爆发那样是在短暂的瞬间一气泄出，昙花一现，星系核的活动期大约在几十万年到几千万年之间，它的辐射能量是在这样长的时间里不断地释放出来的。“不尽长江滚滚来”，这句诗也可以作为星系核的辐射能量的写照。

星系核的第二种活动形式是显著的光变，它们的光学和射电辐射的强度常常在很短的时间内出现很大的变化。我们知道，许多恒星都有光变现象，其原因或者是恒星在作一胀一缩的脉动，或者是发生了爆发，总之是恒星内部很不稳定，有相当剧烈的运动。

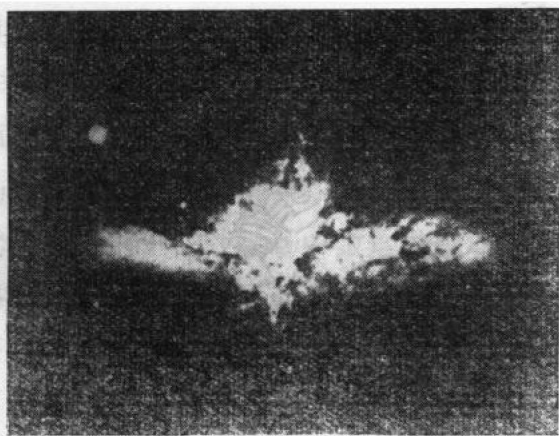


图20 爆发星系M82

同样的道理，星系核的明显光变也正是那里存在着剧烈活动的证据。

喷射气体是星系核活动的又一种形式。即使是那些比较宁静的星系，也不断地有气体以每秒几十公里的速度从它们的核中喷出。而那些活动性强的星系核，它们上面的气体运动就更是蔚为壮观了。例如，有一个名叫M82的星系；位置在大熊星座中，离我们约有一千万光年。在普通的白光照片上看来其貌不扬。1963年9月，有人在大型望远镜上装上滤光板，只让波长为6,563埃的光（这是氢原子的一条红色光谱线）透过，这样来给它照相，才看到了汹涌激荡的水下波澜。原来，从M82的核心有两股强大的气流朝两个相反方向向外喷射，速度高达每秒一千公里，气流已延伸到远离核心一万光年之处。仅这两股气流每秒钟辐射的能量，就是太阳每秒钟辐射能的几亿倍。然而，这种猛烈喷射物质的现象却只不过是下面所讲的大规模爆发的尾声。

星系核的第四种活动形式就是规模大得无与伦比的爆发。一个著名的例子是M87，它是已知的质量最大的椭圆星系。在这个星系核心的西北方向，可以看到一根发亮的长条延伸出去，长条上有一串凝聚的团块，它们是从M87的核中抛射出去的。这串抛射物的

总长度大约有五千光年，厚度约为五百光年。在星系

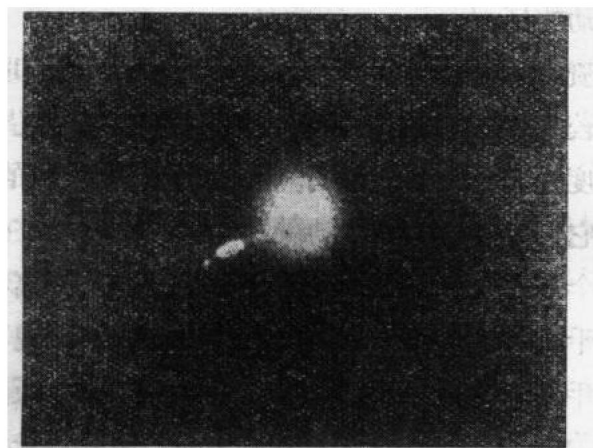


图21 椭圆星系M87

的另一侧，也就是与这串抛射物正好相反的方向上，也有两个较小的凝块，在延长线上还有六、七个小星系（照片上看不到）。这一串东西可能也都是M87这只“老母鸡”下的“蛋”。这些事实说明，M87的核心曾经发生过一次沿两个相反方向进行的爆发，抛出的物质足以形成几个小星系，爆发规模之大可以想见。

类似的星系核爆发现象还有不少。刚才讲到的M82，它的核在大约一百五十万年前发生了一次爆发，抛出物质的质量相当于五百六十万个太阳，爆发的能量大得使超新星不可比拟，如果用百万吨级的氢

弹来比较，那就比一亿亿亿颗氢弹还厉害。它现在的气体喷射，正是这场大动荡的余波。在飞马星座中还有一个星系NGC1275，曾经发生过一次更强烈的爆发，喷射出的物质达几亿个太阳的质量，喷射速度为每秒三千公里。

星系核爆发的证据不仅可以从光学照相上找到，在射电观测中，同样可以看到这种爆发现象。上一章曾经讲过，许多类星体和射电星系都具有双源结构，那两个子源可能就是从中心的光学母体抛射出去的。例如，在天鹅星座有一个射电星系，名叫天鹅座A，它是一个典型的双射电星系，在核心的两侧有两块射电云，很可能就是核心发生爆发时完成的杰作。这两个射电云的直径都有五万光年以上，与一个普通星系

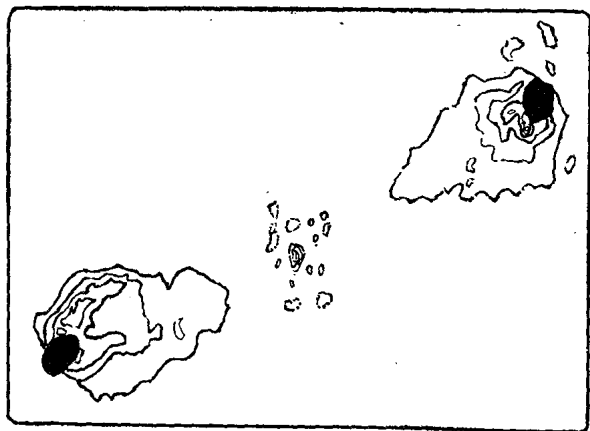


图22 天鹅座A的射电结构图

的大小相当，它们与中心母体的距离则远到十六万光年。星系核爆发时居然能把那么两个庞然大物抛得这样远，伟力神功，岂是虚言！

还有一个射电星系NGC5128更为奇特。它几乎

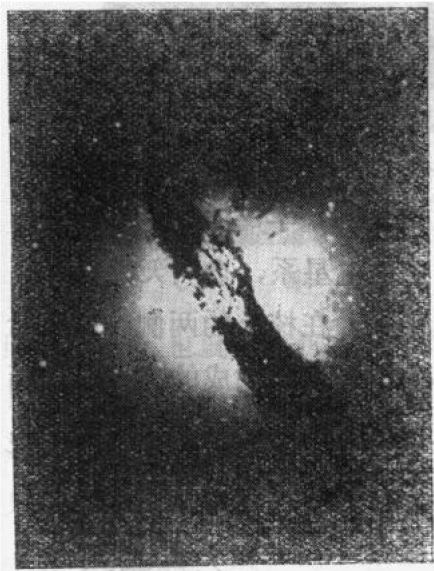


图23 NGC5128

是正圆形的，但是被一条很宽的暗带横贯而过，也就是说成了两个半圆。对这个怪现象有不同的解释，有人认为是这个星系裂开了，一分为二。如果真是这样，那就说明它的核活动已经不只是爆发和抛射物质，而是闹腾到了如此严重的地步，以至于整个炸开，分家了事。

由上所述已经可以看到，星系核爆发的确是最激烈的一种核活动形式，而且它也是迄今所知宇宙中规模最大的爆发现象。超新星爆发是恒星一级活动的冠军，已经要使人叹为观止。但是到了星系世界，这位

巨人顿时成了侏儒。然而，以宇宙之大，即使星系核爆发的规模，也不见得就绝对不可超越。天工造化，神妙无穷，“叹为观止”一词，恐怕是永远不能适用的。

银河系中心也不平静

我们已经浏览了一番河外星系里核活动的壮观场面。然而我们最关心的还是自己的家乡——银河系核心的活动情况怎么样呢？比起上面列举的那些佼佼者来，银河核的活动的确是显得大为逊色。然而，银河中心也有波涛汹涌，那里也绝不是平静的世界。

在银河系中心区域，每边长为3.26光年的一个立方体内大约有一百万颗恒星，这个密度比太阳附近的恒星密度要大一百万倍。如果在银心附近的某颗恒星周围的行星上也有理智生物的话，那么他们看到的天空要比我们所看到的壮丽得多。他们的天空中有百万颗星象我们天空中最亮的恒星——天狼星那样明亮，他们的天空夜晚的亮度相当于二百个满月同时高挂。在恒星分布如此稠密的地方，灾难性的碰撞事件是不会少见的。所以如果那里真的产生了生物，恐怕也难逃灭顶之灾。

银河系核心内的活动还不只是恒星的相撞，在它

的演化史上也曾经有过颇为激烈的爆发。距今一千三百万年前，银核发生过一次爆发，在持续一百万年的时间内不断抛出了大量的物质。今天，在离银河平面较远的地方，还能观测到一些气体云，有的还在向外飞去，有的却在向内落下，速度都在每秒一百公里左右。这些气体云可能就是银核在那次爆发中抛出的。那正在落回的，被抛出得比较早，已成强弩之末，无力再飞，所以又重新被银核的引力拉了回来；而那些较晚才被抛出的，则依然在昂首前进。

另外，在银河系核心方向，离核心不到一万光年，离太阳二万多光年的地方，还有一团物质，也是一千三百万年前银核爆发的产物，现在正好朝太阳飞来。不过，不必作杞人之忧，以为它会撞上太阳。不会的。它的速度不大，飞了这么多年，还没有到一半路程呢。

星系核模型种种

现象是本质的反映。看到这些惊心动魄的星系核活动现象，人们自然要追究背后的原因。星系核的辐射、光变、喷射、爆发，都是怎样发生的？它怎么能倾泻出如此巨大的能量？它疯狂抛射的大量物质又从何而来？它的活动对整个星系的结构和演化会产生什么

影响？这一系列问题都是很不容易回答的，这方面的研究工作还远不成熟，有的几乎是空白。天体物理学家们虽然已经提出了不少种星系核的理论模型，但没有一个模型能全面解答上述这些疑难。

首先提出的是紧密星团模型，这大概是最容易想到的一个。它认为，在星系的核心，恒星密度非常之高，以至于恒星之间会发生频繁的碰撞，从而释放出巨大的能量。但是，具体计算表明，要使碰撞成为星系核的能源，就要求在星系中心区域每边长为3.26光年的立方体内有一千亿颗恒星。而星系核中恒星的实际密度有多高呢？以银河系为例，上面说过，它的中心区域每边长为3.26光年的立方体内只有大约一百万颗恒星，与理论上要求的数值差了十万倍。其它星系核中恒星的密度，也不可能达到这个模型所要求的高度。所以这个模型与实际观测结果是相矛盾的。

另一个现在讨论得很热烈的模型是黑洞模型。它认为在星系中心和在类星体中心一样都有一个巨大的黑洞。例如，许多人相信在星系M87的中心就有一个巨型黑洞，其质量为太阳的五十亿倍。还有人提出在我们银河系的中心也有一个质量为太阳的一亿倍的大黑洞。黑洞的极强引力吸引着周围的物质，星系核活动的能量就来源于物质向黑洞坠落时释放的引力能，

辐射能就是由引力能转化而来的。

星系核中的黑洞还有另一个重要作用，就是提供了维持星系的稳定存在所必需的力量。在一个星系中，恒星的运动速度是很高的，而且并没有一致的方向。象我们的太阳，除了以每秒二百五十公里的速度围绕银河系中心运转外，还以每秒二十公里的速度朝着武仙星座方向奔跑。如果星系中心没有一个巨大的黑洞提供足够的引力，那么恒星的剧烈而杂乱的运动可能早就使整个星系分崩离析了，就象一个敞口容器里的气体分子会迅速飞散一样。因此，或许星系的存在正是以其核中的黑洞为前提的。不过，星系核的黑洞模型目前也有一些尚未解决的问题，而且正如前面所说，黑洞本身也还是一种理论上预言而没有完全证实的天体。

除了这两种模型外，还有人提出了什么大质量旋转磁多层球模型、引力弹弓和气泡模型、等离子体湍动反应堆模型等等，各有利弊，由于都涉及比较专门的理论，我们这里就不作介绍了。总而言之，也象类星体的能源之谜一样，还没有一个令人满意的答案，有待于人们进一步去探索。

五 大气层外迎远“客”

冲出大气圈

细心的读者看完前面四章之后，会注意到这样一个问题：一方面，我们说过，天体能发出范围宽广的电磁辐射，按照波长由长到短来排列的顺序是：无线电波、红外光、可见光、紫外光、X射线、 γ 射线。而另一方面，我们前面所介绍的天体现象，几乎全是无线电和可见光两个波段上的观测结果，所讲的观测工具，只有射电望远镜和光学望远镜，从来没有说过什么X射线望远镜或者 γ 射线望远镜。这是怎么回事呢？

原来，天体的X射线和 γ 射线辐射在地面上是接收不到的，其原因就在那大气身上。我们知道，地球周围有一层厚厚的大气，总厚度大约有一千公里。这层大气实在是太重要了，没有它也就不可能有地球上的生命。首先，这层大气给生物和人类提供了不可须

与缺少的氧气。其次，它还象一条大棉被一样，使地面上能保持适宜的温度。月亮周围就几乎没有大气，月面上白天受太阳照射，温度高到摄氏 127° ，夜晚背对太阳时，温度又降到摄氏零下 183° ，这样激烈变动的酷暑严寒谁能忍受得了？第三，大气又象一副盔甲，挡住了那些时时从天外射向地球的“炮弹”——各种大大小小的石块。我们夜晚常可看到的流星，就是那些进入大气层后与大气摩擦生热而正在燃烧的石块。月亮没有这副“盔甲”，结果就被轰得弹坑密布，满目疮痍。最后，这层大气又象一堵墙，挡住了天体发来的绝大部分电磁辐射。这堵“墙”上只开了那么两、三个小小的“窗户”，基本上只容许可见光的一部分无线电波透过，其它的辐射则对不起，或者反射掉，或者吸收掉，总之是一概拒之于地球之外。当然，对这些辐射是不能放行的，因为它们对生物和人体很有害，它们若能进来，地球上也就不可能产生出生命了。

但是，事情总是有利有弊，有所得就不免有所失。那些辐射进不来，它们所携带的大量报告宇宙天体情况的信息也就进不来了。“客人”们不远亿万里跋涉而来，怎么好让人家吃闭门羹呢？这又使天文学家们对这堵大气“墙”很有意见。只能从两、三个小窗口往外瞅，简直就象从门缝里看电影，未免太不过瘾了。

而天文学家们的希望，还不只是能看点普通电影，他

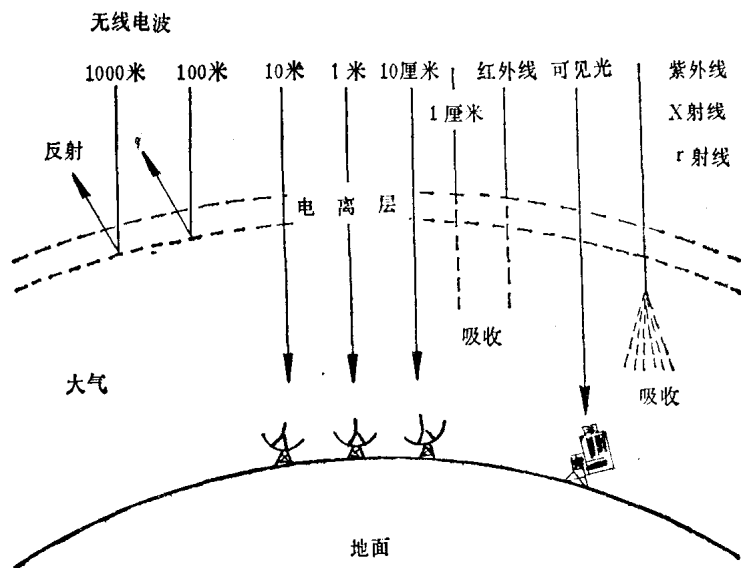


图24 电磁辐射的波谱

们还想看到宽银幕电影，看到立体电影，把那大气“墙”外的万千世界看个究竟。

怎么看呢？只有跳出这堵“墙”，到大气层外的高空去观测。然而，这又谈何容易！不但古代的人们只能用“嫦娥奔月”之类的神话来表达他们的向往，即使在二十多年以前看来，这样的观测也还是十分困难的。只是由于六十年代以来空间技术的飞跃发展，大型气球、探空火箭、人造卫星和宇宙飞船等运载工具相继出现，才把各种观测仪器送上了高空。人类登

月的成功更是使几千年的幻想变为现实。大气屏障终于被人类的智慧突破了，全部波段上的电磁辐射现在都可以观测到了，X射线天文学、 γ 射线天文学、紫外天文学等新的天文分支学科一个个应运而生，天文学从此进入了“全波天文”的新时代，人类的视野也来了一个飞跃的扩展，满怀新鲜之感看到了“天外天”。

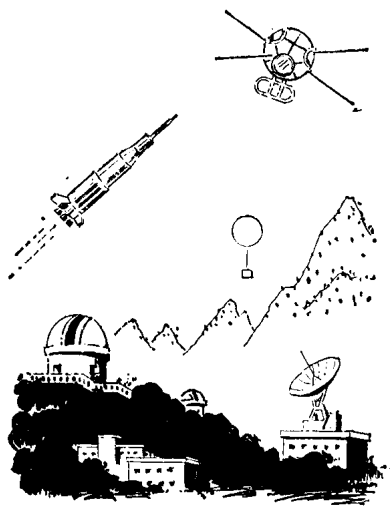


图25 突破大气屏障，把观测仪器送上高空

现在，我们就来看看那些大气层外的“客人”带来了什么新奇的“礼品”吧。

X射线“眼睛”中的天空

六十年代以前，人们只知道太阳能发射X射线，

而太阳的X射线辐射又非常微弱，只占有所有波段辐射总能量的百万分之一而已。1962年，美国科学家罗西等人为了研究月球表面对太阳X射线的反射情况，发射了一枚装有探测X射线装置的火箭，结果又演了一出“无心插柳柳成荫”的喜剧。他们意外地发现，在银河系中心方向有一个发出强大的X射线辐射的天体，后来查明这个X射线源的位置是在天蝎星座内，于是就叫它天蝎座X—1，意思是在天蝎星座中发现的第一个X射线源。这个源每秒钟发射的X射线的能量比太阳每秒钟发出的全部辐射能还要强上一千倍。它是人类探测到的第一个太阳系之外的X射线源，这件事就成为X射线天文学诞生的标志。第一步迈开了，下面的路就不难走下去。1966年又发现了银河系之外的第一个X射线源，就是我们上一章说到的那个巨型椭圆星系M87。1967年发表的一个X射线源表，已经包含了三十名成员。

但是，所有这些源都是依靠火箭和气球找到的。而火箭和气球稍纵即逝，一去不复返，能实际起作用的时间很短，常常只有几分钟。这就很自然地促使人们想到应当把观测仪器装到人造卫星上，这样这些仪器就能长时间地工作，而且随着卫星的运转，能够对某一个源反复观测、仔细研究。1970年，美国发射了

一颗专门进行X射线观测的卫星。这颗卫星是在非洲的肯尼亚海岸发射的，于是就取名为“乌呼鲁”，这是肯尼亚人民所说的斯瓦希里语中的一个词，意思是“自由”。这颗“自由号”卫星名副其实，的确使人们从X射线的必然王国里取得了很大的自由。新的X射线源成十成百地被发现了。到1978年时，根据它的观测结果所编制的X射线源表已经包含了三百九十九个源。1977年8月，美国又发射了一颗名为“高能天文台1号”的大型卫星。这颗卫星更不愧为高超的探测能手，到1978年底时，它就使已知X射线源的数目猛增到一千五百个之多。

说了半天X射线源，它们究竟是些什么东西呢？原来，X射线源只是一个总的称呼，能发射X射线的天体是多种多样的，形态性质五花八门。在已知的X射线源中，大约有百分之六十是银河系内的天体，它们中又有好几个类型。

首先，已经发现好几个超新星遗迹能发出X射线辐射，其中就有蟹状星云。到目前为止，能发射X射线的射电脉冲星还只发现一颗，就是蟹状星云中心的那颗脉冲星，可见这颗星真是“天之骄子”，十八般武艺俱全，样样都能来一手。

X射线源中最有意思的一类是X射线双星，发现

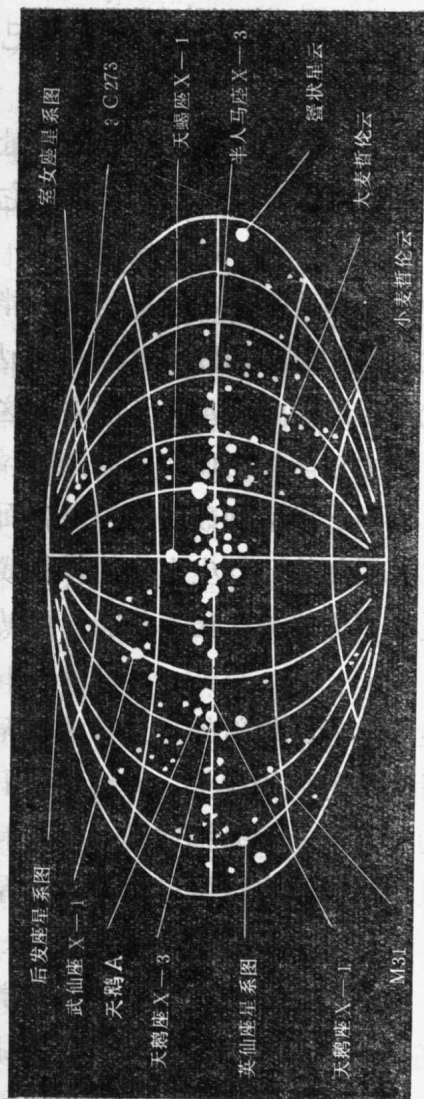


图26 天空中的X射线源 (图点的大小表示源的强弱)

这种源是“自由号”卫星的最大功绩。所谓双星，就是两颗靠得很近，互相绕着转的恒星。在已知的能发射X射线的双星中，大多数是这样组成的：一颗星的体积和质量都很大，质量可以大到太阳质量的二、三十倍，叫做超巨星；另一颗则是中子星。它们俩一边在空中转，一边还进行着一场“拔河赛”，互相都在吸引对方的物质。别看那颗超巨星是个大胖子，它的物质却很松散，抵不上那颗矮小精悍的中子星，于是超巨星的物质就不断地被中子星吸了过去。这些物质向中子星落下，引力势能转化成为动能，速度越来越快。当这些物质象炮弹一样猛烈轰击中子星表面时，就会使表面的局部区域加热，产生高能的X射线辐射。也就是说，物质的引力能先转化为热能，再转化为辐射能。

这样产生的X射线辐射的能量有多高呢？一个双星每秒钟辐射的X射线的能量，大约是太阳每秒钟输出的总能量的一万倍。如果把这样一个X射线源一秒钟辐射的能量用来开汽车，就足以使全世界现有的全部汽车平均每天行驶一百公里，一直开上一千亿年！

在这类X射线双星中，有一个是天文学家视若至宝的，它的名字叫“天鹅座X—1”。它之所以可贵，就在于提供了第一个显示黑洞可能存在的证据。我们

在讲类星体和星系核时都提到过黑洞。这种离奇古怪的天体使人们极感兴趣，但是它又只是一种理论上预言的东西，一直没有被找到。由于黑洞发的光是放不出来的，我们无法看到它，所以直接探测起来很困难，只能通过间接的途径。而到双星系统中去寻找黑洞，可能就比较有希望。这是因为，如果双星中有一颗是黑洞，另一颗星上的物质就必然会被它吸引过去，物质在向黑洞坠落的过程中就会释放出引力能而发出X射线辐射或者更高能的 γ 射线辐射。而天鹅座X-1的情况如何呢？它的两颗星中，一颗也是超巨星，另一颗则很特别，它的质量很大，是太阳质量的5.5倍以上。天体物理学家已经计算出，一颗中子星所可能具有的最大质量是太阳质量的3.2倍，所以这颗星不可能是一颗中子星。更奇怪的是它并不发射可见光，而发射很强的X射线。这颗质量很大而又看不见的星很可能就是一个黑洞。黑洞的引力比中子星还要强得多，被它吸引过来的超巨星物质在坠落的过程中就会产生X射线辐射。读到这里，可能有人会奇怪，不是说过黑洞里什么东西都出不来吗？怎么又能发出X射线呢？请注意，X射线是在物质向黑洞坠落，而尚未进入黑洞内时发出的，就象一个被卷入漩涡而尚未灭顶的人仍能发出呼救声一样。这个比喻倒很形象，只是

太悲惨了一点。美国在1978年11月发射的“高能天文台2号”卫星，曾特地给天鹅座X—1这个最有希望

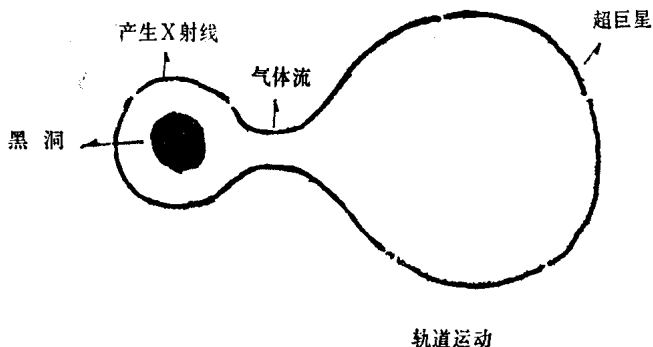


图27 超巨星物质在坠落过程中产生X射线辐射

的黑洞候选者拍摄了一张X光照片。

现在再谈谈其它类型的X射线源。我们在第一章里讲了新星和超新星，就是亮度突然变化的星。X射线源中也有与此相似的X射线辐射强度突然变化的现象，因此也就把这样的源叫做X射线新星。它们平常几乎不发射X射线，突然发射时辐射能量又很大。例如金牛星座有一个源，平时的X射线辐射很微弱，一旦变强时就成为全天空最强的X射线源，真可谓不鸣则已，一鸣惊人。这种源的强辐射一般持续几星期到几个月，然后又逐渐变弱。

更奇怪的是在1975年还发现了一种X射线爆发现象，就是有些源的X射线强度在不到1秒的时间内突

然增强二十到五十倍，持续时间也很短，只有几秒到几十秒，然后辐射强度就急速下降。而且这种爆发还会很快地重复出现，两次爆发间隔的时间长则几小时到几天，短则几分甚至几秒。爆发时每秒发出的X射线的能量比太阳每秒的总辐射能还要强几十万倍甚至百万倍以上。上述这种现象叫做X射线暴，关于它的本质目前还研究得很少。如果说数学上常用X来代表未知数的话，这种X射线暴就真是一个很大的未知数。

至于那占比例百分之四十左右的河外X射线源，也是形形色色，难以尽述。它们中有的是一些平常的星系，例如我们银河系的近邻大、小麦哲伦云以及仙女座大星云等，都有X射线辐射。有的源则是一些活动性很强的星系，如强射电星系、赛弗特星系等，有的是类星体，还有的是数以千计的星系组成的系统——星系团。最后，还有不少河外X射线源没有弄清楚是些什么天体，只知道它们的X射线辐射比其它波段的辐射都强，所以就姑且叫做X射线星系。想当年德国物理学家伦琴发现X射线时，不是也因不明这种射线的本质而姑且以“X”呼之么？现在对这些未知真相的X源的称呼，也只好效法伦琴了。

上面所谈的所有银河系内外的X射线源，都叫做分立源。也就是说它们都是独立的可以区分的天体，

泾渭分明，各显神通。但是，早在1962年就发现宇宙中还存在着一种来历不明的X射线辐射。它不是从天空中的某个区域发出的，而是在整个天空中到处都有，连成一片，而且在各个方向上辐射强度都一样，就象一块其大无比的背景幕布，铺在同样其大无比的天空中。这种辐射就叫做X射线背景辐射。关于它的起源问题，有人提出这种辐射也是由分立的河外X射线源发出的，只不过这些源数量很多，离我们又很远，因此它们发出的辐射在到达地球时就连成一片、区分不开了。也有人认为这种背景辐射不是星系内的源发出的，而是起源于在星系与星系之间的空间散布着的气体或粒子，这些物质本身就是象云雾那样弥漫于星系际空间的，它们发出的X射线辐射也就浑然一体了。

不过，这两种看法都不能令人满意。这就促使人们想到，既然这种X射线背景辐射是比星系更大的空间范围内的现象，那就应该更上一层楼来看问题。这种辐射的起源可能牵涉到我们迄今所观察到的整个宇宙的演化，X射线的产生也许应当归之于宇宙演化史上过去的遥远时代。这方面的研究工作目前正在进行。

γ射线天文奇花初放

1960年就用气球探测到银河系中心方向有很强的

γ 射线辐射，这比发现太阳系外第一个X 射线源的时间还要早。但是由于宇宙空间 γ 射线流的强度比X 射线流要弱得多，所以对它的探测就更加困难。 γ 射线天文学直到七十年代才取得真正的进展，到现在已知的 γ 射线源也还只有二十多个，不可与X 射线源的数量同日而语。但是， γ 射线天文园地也已有奇花初放，异蕾迎春，有一些观测发现十分引人注目。这里我们只介绍其中的两个。

一个就是所谓 γ 射线暴。1972年，一颗用来监察核爆炸的侦察卫星“维拉”号执行了一件它的主人并

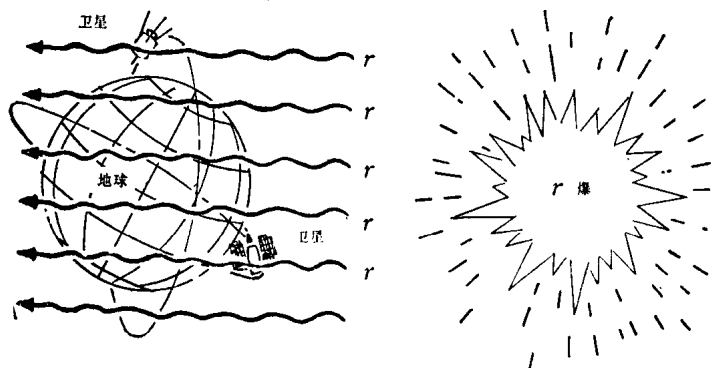


图28 侦察卫星记录到 γ 射线流

未指令的“使命”，这颗卫星上的探测器意外地记录到一股很强的 γ 射线流。这股射线流突然出现，短暂而又强烈，就叫做 γ 射线暴。它原来并不很罕见，在

以后的几年中平均每年大约可以记录到五次，到现在已经积累了七十多个事例。这种爆发持续的时间很短，通常在几秒到几十秒之间。它的能量很高，如果假设这种爆发发生在离我们最近的恒星处（将距离近似地取为 3 光年），那么根据接收到的 γ 射线强度可以推算出，爆发源辐射的能量比太阳辐射的总能量还要强几百万倍。而事实上爆发源的距离总比 3 光年要远得多，因此 γ 暴是一种十分猛烈的爆发现象。 γ 暴的最奇特之处就在于来历完全不明，可以肯定的只是它们发生在太阳系之外，再多说一句都很困难。因为根本找不到与它们相对应的天体，也不知道爆发出自空间的哪个区域。有几个爆发源虽然也被确定了方向，可是在天空中这些方向上又未曾找到任何已知的天体与之相对应。总之，这种 γ 暴可谓是神出鬼没，来去无踪，既使观测家们颇伤脑筋，又使理论家们大为激奋，冥思苦想，先后提出了三十多种模型来解释它的起因。然而由于观测资料太少，还无法判定孰是孰非。

但是在团团迷雾中也还有一点蛛丝马迹。前面讲过的那个双星天鹅座 X-1 中的黑洞就很有点产生 γ 暴的“嫌疑”。何以见得呢？比如说，它的 X 射线谱的形状与一次测得的 γ 暴能谱很相似；有一、二个暴的可能方向也正好对着它；而且在爆发出现时，它的 X 射

线辐射也恰好发生了变化。这些线索暗示着它可能是 γ 暴的暴源。有人更进一步认为， γ 暴现象可能就是黑洞所具有的一个特征。

另一个引人注目的发现就是探测到了一批 γ 射线脉冲星。这种脉冲星已经完全确认的有六颗，其中当然少不了那位蟹状星云脉冲星，另外还有几颗正在证认之中。这些星也都是射电脉冲星，但是，它们发射的 γ 射线能量要比射电辐射能量强一百万倍，也就是说，射电辐射反而只是总辐射量中可以忽略不计的部分。而且这些星的 γ 辐射的许多特征都与射电辐射很不相同。这就促使人们要对以前根据射电辐射而建立的脉冲星模型进行修改，也许将从根本上改变对脉冲星辐射的认识。当然，脉冲星是中子星这个基本观点仍然是对的。但是脉冲星的辐射究竟是怎样产生的？以前的模型可能就需要重新考虑和修改了。

比起那几乎与人类文明史同样古老的光学天文学和那也已年近半百的射电天文学来，X射线天文学和 γ 射线天文学的确还非常年轻，如蓓蕾初绽。然而，它们的发展前途是未可估量的。

六 高能粒子的“百宝箱”

X射线和 γ 射线波段的开拓，使天文学发展到全波天文的新阶段，大大开扩了人们的眼界。但是，人类对自然界的认识是永无止境的。

X射线和 γ 射线都是不带电荷的。而来自遥远天外的射线，除了这种不带电荷的之外，还有带电荷



图29 我国云南宇宙线实验站

的。如同无数水分子组成滚滚河流一样，这种带电荷的射线也是由带电粒子组成的“流”，通常称为宇宙射线荷电粒子流，有时就简单地叫做宇宙线。

宇宙线分为两类。从宇宙空间射来而尚未进入地球大气层的，叫做初级宇宙线。初级宇宙线进入大气层后，与空气中各种原子的原子核相碰撞，发生反应，形成一系列的新粒子，这些新粒子的流就叫做次级宇宙线。

无 畏 者 的 功 勋

宇宙线的发现主要应当归功于奥地利物理学家赫斯。1900年，也就是进入二十世纪的时候，人们在实验中发现空气中存在有来历不明的离子，离子是带有正电荷或负电荷的粒子。空气的分子本来是不显电性的，除非由于某种原因使分子发生了离解，将分子拆开了，才会成为离子，这个过程叫做电离。那么，是一种什么力量使空气分子发生电离的呢？赫斯认为，这种力量不在地球上，也不在大气本身，而是一种由地球外的空间射入的射线的作用。这种射线具有很高的能量，它的冲击使空气分子发生了电离。

赫斯的这个想法是很大胆的。而他得出这个想法所依据的实验则更是冒险之举。1911—1912年间，他

曾多次乘坐气球飞入高空去研究空气的导电性。有一次，他乘气球从自己的祖国奥地利出发，升到五公里以上，飞行二百公里降落到德国柏林附近。在当时的技术条件下，这样做是要准备牺牲生命的。经过周到细致的测量，他发现随着气球的升高，空气的导电性不但不下降，反而显著增强。导电性强说明空气中离子数目多，而离地面越高的地方空气是越稀薄的，因此他得出结论：空气的电离不是由于地面上或大气中的原因，而是由某种地外空间的射线所引起的。这种来历尚未查明的射线，就被称为宇宙射线。

赫斯的无畏精神和首创性的贡献，应当永远彪炳于天文学和物理学的史册。这个事例告诉我们，科学研究绝不只是学者们在书斋里的玄想幽思。在科学史上，有不少人为探求真知而献出了自己的宝贵生命。

无尽的高能粒子源

赫斯所发现的宇宙射线究竟含有一些什么成分呢？1927年，有个名叫克莱的人作了一次从荷兰的阿姆斯特丹到印度尼西亚的爪哇的长途旅行，沿途测量所接收到的宇宙线的强度。结果发现，在地球上纬度越高的地方宇宙线强度也越高，越靠近赤道强度越低。这个事实就证明宇宙线是由带电粒子组成的。道

理何在呢？因为地球是一个大磁体，地球周围的磁场会对带电粒子发生作用，结果会使得从宇宙空间来的带电粒子在地磁极附近比较容易进来。而在赤道附近，带电粒子就会受到地磁场的偏转作用而跑向高纬度区。如果宇宙线是些不带电的粒子，那就不会受地磁场影响，也就没有强度随地理纬度变化的现象了。

后来，人们进一步查明，初级宇宙线中绝大多数是带正电的粒子。具体说来，质子（即氢原子核）在其中大约占85%，氦原子核（也叫 α 粒子）约占12.5%，其余的2.5%中，主要是其它各种元素的原子核，元素周期表中几乎所有元素的原子核都可以在宇宙线中找到。正是：天公恩赐“百宝盒”，满目琳琅任君挑。

这些带电粒子，都具有极高的能量，这就给高能物理的研究提供了一个天然的实验室。因为，研究基本粒子，总要有一个能产生出粒子的“源”，否则岂非无米之炊？而在五十年代以前，人类拥有的唯一的高能粒子源就是宇宙线。使高能物理学家们大喜过望的是，从那茫茫天外飘然而至的，不仅有他们的各位“老相识”可供各种研究之用，而且还有许多“新朋友”向他们招手致意。基本粒子大家族中的许多新成员都是首先在宇宙线中显露“真身”的。类星体一章

中曾提到过的阳电子，它的发现就是一个著名的例子。1930年，英国物理学家狄拉克预言，自然界中应当存在有一种带正电荷的电子，称为阳电子，它是普通电子的反粒子。这个预言很快就被证实了。1932年，美国物理学家安德逊在宇宙线中找到了一种质量与电子相同，却带有正电荷的粒子，就是阳电子。此外，还有许多种新基本粒子，象质量介于质子质量与电子质量之间的 μ 介子、 π 介子、 K 介子、 Λ 介子，以及质量比质子还大的 Σ 超子等等，也都是在宇宙线中首先发现的。这些新粒子，对于人类探索微观世界的秘密起了极其巨大的作用。在勤奋而智慧的人们面前，大自然的确是慷慨大方的。

即使在各种高能加速器相继问世，人们已经能“造”出高能粒子之后，宇宙线的作用仍然不可代替。因为从加速器中出来的粒子能量仍远远不能与宇宙线粒子的能量相比，二者相差十亿倍之多。要想获得极高能量的粒子，仍然只有到宇宙线中去搜寻。当然，宇宙线作为高能粒子源也有它的缺点。宇宙线粒子的数目毕竟不多，成分又很复杂，而且能量越高的粒子越稀罕，不象加速器那样，粒子的种类和能量能受人控制，可以进行有预期目标的实验研究。天工化育与人力创造，可谓各有千秋，只有兼取二者之长，

才是珠联璧合，相得益彰。

问君何处来？

能量如此之高、成分又如此复杂的宇宙线是从哪里产生出来的呢？这个问题可就问到难点上了。看来赫斯一开始就想到了这个问题，他曾经选择在发生日食的时候作过一次气球飞行。他观测到日食期间空气的电离程度并没有下降，也就是说宇宙线粒子的数量并不因太阳被月亮挡住而减少，这就表明宇宙线不是起源于太阳。后来的精确观测确定，太阳一类的普通恒星所产生的宇宙线粒子，只占总数的一百万分之一。那么宇宙线是不是来自银河系核心呢？也不是。因为当探测器的接收方向随地球的自转而不断改变时，无论是朝着银心还是背对银心，宇宙线的强度也没有什么变化。

在继续进行了大量反复的观测之后，人们才知道，原来初级宇宙线在各个方向上都是以相同的强度射向地球的，这个性质叫做各向同性。既然从各个方向上来的宇宙线粒子都一样多，我们就根本不可能象对X射线和 γ 射线那样，按照它们飞来的方向而反推出它们的发源地，逆流而上溯本求源的办法在这里是行不通的。这是怎么回事呢？这个原因就在于宇宙线

是带电的粒子，而在星际空间也就是各个恒星之间的空间都存在或强或弱的磁场。磁场会使带电粒子的运动路径弯曲，而沿着螺旋线运动。宇宙线粒子就在星际空间不断地翻跟斗、打转转，七歪八扭，这些粒子也被弄得晕头转向，以至它们到达地球时，也象美国电影《大西洋底来的人》中的那位主人公迈克一样，早已忘记了自己的“出生地”是在什么方向。

看来大自然又在考验人类的智慧了，科学家们在这种考验面前是从不退缩的。既然找不到宇宙线的“足迹”，不是还可以再在那些已经捕获的“俘虏”身上打主意么？应当再仔细分析那些被接收到了的粒子成分和它们的能量，或许从中可以得到有用的“情报”。经过这样一番“审问”之后，“俘虏”看来是“招供”了。前面说过，宇宙线中几乎含有所有已知元素的原子核。但是，所含的各种原子核的数量多少是各不相同的，质量较大的元素在其中所占的比例明显地要比太阳系物质中的比例高。这个事实启发人们，宇宙线可能起源于恒星演化的晚期，因为较重的元素是在晚期恒星内和超新星爆发时形成的。另一方面，宇宙线粒子的能量非常之高，抛射出这种粒子就必须要有很大的力量，只有那种比普通恒星活动激烈得多的爆发过程才能提供。讲到这里，聪明的读者已

会猜出下面的答案了：宇宙线很可能就是起源于超新星爆发。第二章中谈到的巴德和兹维基的那篇四百字短文，除了预言中子星可以在超新星爆发过程中形成外，还提出这种爆发能够提供产生宇宙线所需要的能量，因而可能就是宇宙线的起源，那篇著名短文的题目就叫《超新星与宇宙线》。经过进一步的观测研究，已经证明，大多数宇宙线荷电粒子的确是起源于超新星爆发，以及爆发后形成的中子星。中子星能射出高能粒子，因而也是宇宙线的一个重要来源。具体计算也表明，超新星爆发所产生的能量以及中子星所连续输出的能量，的确可以维持银河系内宇宙线源源不断地稳定供应。这样看来，答案似乎已经找到，我们这本从超新星开始讲起的小书，也可以回到超新星上来结束了。

然而且慢收兵，大功尚未告成，问题并没有完全解决。请重新细看上一段文字，那里写的是大多数宇宙线粒子起源于超新星及中子星，而并不是全部。如果所有的宇宙线粒子都是由超新星及中子星产生的话，那么其中应当总有一部分能量最高的粒子射向地球时具有一定的方向性。这是因为，既然这部分粒子运动速度极快，受星际磁场的偏转作用就不会象其它能量不是最高的粒子那样显著，就象开得越快的汽车

越难以使它拐弯一样。因此，在那些曾经发生过超新星爆发，或者现在存在着中子星的方向上，所观察到的这种能量最高的宇宙线粒子应该比其它方向上的多。然而实际观测结果并非如此。即使是那些具有最高能量的宇宙线粒子，也是从各个方向上、以同样强度射入地球的，看不出什么明显的方向性。这就表明，这部分宇宙线的起源问题已经难以在银河系内找到答案了，它们应当是产生于银河系之外。考虑到从银河系外射来的粒子要走过更加漫长得多的路程，因而必然原来就具有更高的能量，那么在河外区域就必然存在着比银河系内的强大得多的宇宙线粒子源。这种粒子源究竟是什么？究竟在哪里？迄今为止，还是“上穷碧落下黄泉，两处茫茫皆不见”。

这本书前面的每一章，都讲到了各种已经解开和尚未解开的宇宙之谜，这最后一章，也就让它以仍未完全解开的宇宙线起源之谜作结束吧。

高能天体世界漫游的行程已经不短了，或许你的好奇心还没有得到满足吧？但是我们也得取道飞回地球休整一下了。在返回家乡的途中，不妨闭目回想一下此行的收获。那大吼一声、令人瞠目的超新星爆发，那装着两盏“探照灯”、狂速旋转的脉冲星，那

浑身充满了难解之谜的类星体，那蕴藏着无穷伟力、造就了种种神功的星系核，那向人们展示出另一种新颖天空图景的 X 射线和 γ 射线辐射，那堪称高能粒子“百宝盒”的宇宙线，好一番色彩缤纷、雄奇瑰丽的天国风光！然而，也许可以说，在 高能天体的“园林”里，所有这些还只是几枝早放的红梅，因为高能天体物理学的真正发展，还只有二十来年的短暂历史。随着人类的进一步探索，一定还会在这门学科的领域中迎来千花斗艳、万木争荣的明媚阳春。

当我们在高能天体世界大饱眼福、赞叹不已的时候，不应当忘记那些揭示天外奇观的科学家们。

我们的祖先曾经在天文学的观测研究上取得了许多举世瞩目的成就，但是在近代和现代天文学的发展史上却很少有中国人的功绩。科学固然没有国界，科学知识固然是全人类的共同财富，但是我们这样一个勤劳智慧、历史悠久的民族却应当对科学的发展作出较大的贡献。近年来，我国年轻的天体物理学家们，发愤努力，初露锋芒，已经在某些领域取得了具有国际先进水平的成果。但是，总的说来，我们在自己的祖先面前，应当感到惭愧。

根本改变这种状况的希望寄托在年轻一代身上。宇宙中的无穷奥秘，正在那里露出诱人的微笑，等待

着有志者去探索。我们中华民族在 高能天体物理事业
上，也象在其它各个方面一样，将以崭新的姿态阔步
前进。



《自然科学小丛书》

编辑者：北京市科学技术协会

主 编：茅以升

副主编：高士其 徐剑平 鲁 刚

编 委：秦元勋 沈克琦 王 珪

李鉴澄 袁见齐 汪振儒

谢 础 吴佑寿 陈正仁

褚圣麟

天文分科
编 委：李鉴澄 卞德培 薄树人

肖兴华 翁士达 尹济生

封面设计：梁午东

书 号：13071·112

定 价：0.24 元